



Universidad
Carlos III de Madrid

Estudio y modelado de los escenarios de generación de energía para abastecimiento energético de un parque automovilístico eléctrico

Alumno: Eduardo Galindo Sanz

Proyecto Fin de Grado Ingeniería Mecánica

Universidad Carlos III Madrid

Leganés, septiembre-2014



Tabla de contenido

	<u>Página</u>
1 OBJETIVOS	5
2 INTRODUCCIÓN	5
2.1 POLÍTICA EUROPEA H2020 y NACIONAL	5
2.1.1 Política europea H2020	5
2.1.2 Política nacional y mercado	6
3 PARQUE ACTUAL	10
3.1 EMISIONES DEL PARQUE	10
3.1.1 Materia Particulada (PM)	11
3.1.2 Óxidos de nitrógeno (NOx)	11
3.1.3 Hidrocarburos sin quemar (HC's)	12
3.1.4 Compuestos que contienen azufre	13
3.1.5 MODELIZADO EN GREET	13
3.2 GENERACIÓN ACTUAL	18
3.2.1 Emisiones	20
3.3 RECARGA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	23
3.4 NECESIDAD DE MEJORA DEL PARQUE	25
4 SOLUCIONES TECNOLÓGICAS	25
4.1 PARQUE FUTURO	25
4.2 NUEVOS VEHÍCULOS	26
4.3 COSTES PARA EL USUARIO	26
4.3.1 Costes de un vehículo de gasolina	26
4.3.2 Costes de un vehículo de gasoil	27
4.3.3 Para un vehículo eléctrico	28
4.3.4 Comparación de costes	30
4.3.5 Cálculo de Valor Actual Neto (VAN)	31
4.3.6 Resumen de VAN según el tipo de motor	32
4.4 REVISIÓN TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ACTUALES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA SOSTENIBILIDAD	34
4.5 INDEPENDENCIA ENERGÉTICA	35
4.6 NUEVAS TECNOLOGÍAS	35
4.6.1 Energía eólica marina	35
4.6.2 Captura de CO2	35
4.6.3 Postcombustión	36
4.7 ESCENARIOS DE GENERACIÓN FUTUROS	36
4.7.1 Objetivos	36
4.7.2 Escenario 1: Mapa de generación actual	36
4.7.3 Escenario 2: Plan energías renovables año 2020	50
4.7.4 Resumen de Escenarios y Casos	62
4.7.5 Conclusiones	65
5 VISIÓN ECONÓMICA	67
5.1 Eólica	67
5.1.1 Los costes de explotación	67
5.1.2 Costes de generación	68



5.2	Hidroeléctrica	68
5.2.1	Coste de generación	69
5.3	Solar fotovoltaica	69
5.3.1	El coste de mantenimiento	69
5.4	Solar Fototérmica	69
5.4.1	Los costes de mantenimiento	70
5.4.2	Coste de generación	70
6	ANEXO	71
6.1	RUTA DEL PETRÓLEO	71
6.2	RUTA DEL CARBÓN	73
7	REFERENCIAS	76

Tabla de Ilustraciones

	<u>Página</u>
Ilustración 1: Contaminación en Madrid	12
Ilustración 2: Greet coche gasolina	14
Ilustración 3: Coche de gasolina	14
Ilustración 4: Greet mix energético	22
Ilustración 5: Curva demanda invierno característica	24
Ilustración 6: Curva demanda verano característica	24
Ilustración 7: Eólica curva característica en verano	34
Ilustración 8: Curva demanda con recargas del Escenario1-Caso 1	38
Ilustración 9: Mix energético Escenario1-Caso 1	40
Ilustración 10: Curva demanda con recargas del Escenario1-caso 2	45
Ilustración 11: Mix energético Escenario1-Caso 2	46
Ilustración 12: Evolución de las tecnologías de generación energética	50
Ilustración 13: Curva demanda en 2020	52
Ilustración 14: Mix energético Escenario 2- Caso 1	55
Ilustración 15: Mix energético Escenario 2- Caso 2	60
Ilustración 16: Coste de la inversión de una torre eólica	67
Ilustración 17: Coste de la inversión de una central hidroeléctrica	68
Ilustración 18: Gastos instalación fotovoltaica	69
Ilustración 19: Costes central fototérmica con almacenamiento	70

Índice de Tablas

	<u>Página</u>
Tabla 1: Parque de vehículos actual.....	10
Tabla 2: Automóviles según cilindrada	10
Tabla 3: Emisiones máximas gasolina	14
Tabla 4: Emisiones gasolina.....	15
Tabla 5: Emisiones coche diésel	16
Tabla 6: Emisiones coche gasoil	16
Tabla 7: Mix energético peninsular 2013.....	18
Tabla 8: Potencia, energía media y uso diario	20
Tabla 9: Emisiones del mix según Greet.....	22
Tabla 10: Revisiones gasolina	27
Tabla 11: Revisiones gasoil.....	28
Tabla 12: Revisiones eléctrico	29
Tabla 13: Costes según tecnología	30
Tabla 14: VAN gasolina.....	31
Tabla 15: VAN gasoil.....	31
Tabla 16: VAN eléctrico	32
Tabla 17: VAN eléctrico alquiler de baterías	32
Tabla 18: Potencia, energía y uso en .Escenario1-Caso1	38
Tabla 19: Emisiones mix Escenario1-Caso 1.....	40
Tabla 20: Emisiones coche eléctrico con mix del Escenario1-Caso 1.....	41
Tabla 21 Potencia, energía y uso en .Escenario1-Caso2	44
Tabla 22: Emisiones mix Escenario 1-Caso 2.....	47
Tabla 23: Emisiones coche eléctrico con mix del Escenario1-Caso2.....	48
Tabla 24: Potencia, energía y uso en Escenario 2	51
Tabla 25: Potencia, energía y uso del Escenario2- Caso 1	54
Tabla 26: Emisiones mix Escenario2-Caso 1.....	55
Tabla 27: Emisiones coche eléctrico con mix del Escenario2-Caso 1.....	56
Tabla 28: Potencia, energía y uso del Escenario2- Caso 2	59
Tabla 29: Emisiones mix Escenario2-Caso 2.....	60
Tabla 30: Emisiones coche eléctrico con mix del Escenario2-Caso 2.....	61
Tabla 31: Resumen de Escenarios-Casos	63
Tabla 32: Comparativa de emisiones urbanas	64
Tabla 33: Independencia energética	64
Tabla 34: Costes de generación de los diferentes escenarios	65
Tabla 35: Coste de la electricidad para distintas tecnologías	70

1 OBJETIVOS

Este proyecto tiene como objetivos analizar la problemática de la contaminación del parque automovilístico actual español y proponer una solución a este problema mediante el uso del coche eléctrico

Comprobaremos si actualmente es tecnológica, económica y ambientalmente viable sustituir el parque con motor de combustión por un parque eléctrico.

Debido a dicha sustitución de tecnología debemos analizar el mapa de generación actual de energía de España, así como las tecnologías que serán utilizadas en un futuro para definir posibles escenarios y comprobar su viabilidad

2 INTRODUCCIÓN

2.1 POLÍTICA EUROPEA H2020 Y NACIONAL

2.1.1 Política europea H2020

La Unión Europea (UE) define en su política Horizonte 2020 (H2020) [\[REF. 1\]](#) tres prioridades que se refuerzan mutuamente:

1. **Crecimiento inteligente:** desarrollo de una economía basada en el conocimiento y la innovación.
2. **Crecimiento sostenible:** promoción de una economía que haga un uso más eficaz de los recursos, que sea más verde y competitiva.
3. **Crecimiento integrador:** fomento de una economía con alto nivel de empleo que tenga cohesión social y territorial.

La UE tiene que definir el lugar que quiere ocupar en 2020. Con este fin, la Comisión propone los siguientes objetivos principales de la UE:

- Invertir en I+D el **3% del Producto Interior Bruto (PIB)** de la UE.
- Lograr el objetivo **«20/20/20»** en materia de clima y energía. Esto significa conseguir en 2020 la reducción de gases de efecto invernadero del 20% con respecto a 1990, alcanzar un 20% de participación de energías renovables en la energía primaria y conseguir un 20% de mejora de la eficiencia energética. Si se dieran las condiciones para ello, se pretende llegar al 30 % en reducción de gases de efecto invernadero.

Se trata de objetivos ambiciosos, pero alcanzables. Se basan en propuestas concretas para asegurar su consecución.

Para lograr el éxito, es indispensable que las instituciones y los líderes europeos hagan suyos estos objetivos.

La Comisión propone un conjunto de **iniciativas** para catalizar los avances en cada tema prioritario:

- **«Unión por la innovación»**, con el fin de mejorar las condiciones generales y el acceso a la financiación para investigación e innovación y garantizar que las ideas innovadoras se puedan convertir en productos y servicios que generen crecimiento y empleo.
- **«Una Europa que utilice eficazmente los recursos»**, para ayudar a desligar crecimiento económico y utilización de recursos, apoyar el cambio hacia una economía con bajas emisiones de carbono, incrementar el uso de fuentes de energía renovables, modernizar nuestro sector del transporte y promover la eficacia energética.
- **«Una política industrial para la era de la mundialización»**, para mejorar el entorno empresarial, especialmente para las PYME's, y apoyar el desarrollo de una base industrial fuerte y sostenible, capaz de competir a nivel mundial.

Los retos del clima y de los recursos requieren la adopción de medidas drásticas. Una fuerte dependencia con respecto a los combustibles fósiles, como el petróleo, y el uso ineficaz de las materias primas exponen a nuestros consumidores y empresas a fluctuaciones de precios dañinas y costosas, amenazando nuestra seguridad económica y contribuyendo al cambio climático. El crecimiento de la población mundial de 6.000 a 9.000 millones de personas intensificará la competencia por los recursos naturales y añadirá presión sobre el entorno. La UE debe continuar buscando una solución universal a los problemas del cambio climático, pero sin olvidar ejecutar en todo el territorio de la Unión nuestra estrategia convenida sobre clima y energía. Para que Europa pueda tener un crecimiento sostenible y competitivo debe construir una economía que aproveche los recursos con eficacia.

2.1.2 Política nacional y mercado

Cada día, el Operador del Mercado Ibérico de Energía, Polo Español, S.A., (OMEL) [\[REF. 2\]](#) se encarga de subastar la energía para las 24 horas del día siguiente. La subasta se realiza en tramos de hora, entrando en primer lugar aquellas energías más baratas, seguidas de los distintos sistemas de producción hasta que se cubre la demanda proyectada de cada hora.

En primer lugar, acceden las nucleares y las renovables porque sus costes de producción son prácticamente nulos y son ofrecidas al mercado por parte de los productores a precio cero. La subasta se sigue completando con energías más caras como el gas, carbón, fuel. Así, la última tecnología en cubrir la demanda proyectada de dicha hora es la que marca el precio marginal de venta de la energía de esa hora en concreto, por lo que todas las demás fuentes de energía serán pagadas a ese precio. Este sistema tiene una peculiaridad, que todos los generadores cobran al precio marginal, que es el precio más alto de la subasta.

Las energías renovables a su vez, reciben una prima económica, cuyo valor depende de la tecnología que usen.

Después de evaluar la viabilidad del programa, tras un proceso de iteraciones, se obtiene la “*producción prevista*”, que es el programa completo de generación, consumo y transporte del día siguiente.

El problema es que el programa no siempre se cumple debido a la aparición de desvíos. Para solucionar este problema se produce una nueva subasta el mismo día que se va a consumir dicha energía. Tras esta nueva subasta se analizan nuevamente las restricciones técnicas del sistema, hasta alcanzar un nuevo programa, que es la “*producción programada*”.

Sin embargo, es posible que no se cumpla la igualdad entre producción y demanda, por lo que son necesarias bandas de regulación para solventar el problema.

Las instalaciones que participan en estas bandas de regulación reciben una fuerte compensación cada vez que es necesaria su disponibilidad. Las centrales que participan en estas bandas de regulación son centrales de turbina de gas debido a su rapidez de cambio de régimen.

Al final, el último programa es el “*Programa Horario Operativo*”, y éste es el que establece lo que se genera en cada instalación.

Desde que se aprobó la *Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico*, [\[REF. 3\]](#) se inició un proceso de liberalización en las actividades de generación y comercialización de energía eléctrica.

Tras la aprobación del *Real Decreto-ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social*, [\[REF. 4\]](#) se produjeron una serie de circunstancias que provocaron que los límites de déficit fueran insuficientes, así como una disminución de la demanda, el aumento de producción de energía con fuentes renovables y una caída de precios.

Esta serie de circunstancias provocó un desajuste temporal difícil de asumir por parte de los consumidores. Debido a dicho desajuste se aprobaron, tanto en el *Real Decreto-ley 6/2010, de 9 de abril, de medidas para el impulso de la recuperación económica y el empleo* [\[REF. 5\]](#), como en el *Real Decreto-ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico* [\[REF. 6\]](#), un conjunto de medidas encaminadas a ajustar el régimen de tarifas del sistema eléctrico español.

Así, en el citado *Real Decreto-ley 14/2010* [\[REF. 6\]](#), se elevaron los límites máximos de déficit para los años 2010, 2011 y 2012, manteniendo el objetivo de no aparición de nuevo déficit en el sistema eléctrico a partir del 2013. Además, se procedió a la adopción de otras medidas puntuales de protección al consumidor y de reducción de determinadas partidas de los costes y de los ingresos del sistema.

De igual modo, a lo largo del año 2012 y hasta la fecha se han adoptado nuevas medidas de carácter urgente con el idéntico propósito de hacer frente a las desviaciones que, por el agravamiento de las circunstancias ya aludidas, se fueron poniendo de manifiesto en relación con las estimaciones iniciales.

Entre las medidas adoptadas en 2012 y 2013 destacan:

- *Real Decreto-ley 13/2012, de 30 de marzo por el que se transponen directivas en materia de mercados interiores de electricidad y gas y en materia de comunicaciones electrónicas, y por el que se adoptan medidas para la corrección de las desviaciones por desajustes entre los costes e ingresos de los sectores eléctrico y gasista* [\[REF. 7\]](#). Desde la perspectiva de la reducción de los costes, fija unos nuevos criterios disminuyendo la retribución por generación, distribución y transporte de gas y electricidad.
- *Real Decreto-ley 20/2012, de 13 de julio, de medidas para garantizar la estabilidad presupuestaria y de fomento de la competitividad* [\[REF. 8\]](#). Incorpora otras medidas adicionales relativas al régimen retributivo de los sistemas eléctricos para las Comunidades Autónomas insulares y peninsulares.
- *Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero* [\[REF. 9\]](#). Nuevas medidas para corregir los desajustes entre los costes del sector eléctrico y los ingresos obtenidos a partir de los precios regulados, para evitar una nueva subida de precios afrontada por parte de los consumidores. Se establece como referencia el Índice de Precios de Consumo a Impuestos Constantes sin alimentos no elaborados ni productos energéticos (IPC-IC subyacente). Se establecen dos opciones de venta de la energía: la cesión de la electricidad al sistema percibiendo una tarifa regulada o la venta de la electricidad en el mercado de producción de energía eléctrica, sin complemento de prima.
- *Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico* [\[REF. 10\]](#). Establece un nuevo régimen retributivo para las instalaciones de generación de energía renovable, cogeneración y residuos, fijando el concepto de “rentabilidad razonable”.
- *Ley 15/2013, de 17 de octubre, por la que se establece la financiación con cargo a los Presupuestos Generales del Estado de determinados costes del sistema eléctrico, ocasionados por los incentivos económicos para el fomento a la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables y se concede un crédito extraordinario por importe de 2.200.000.000 de euros en el presupuesto del Ministerio de Industria, Energía y Turismo* [\[REF. 11\]](#).

Adicionalmente a este ajuste de los costes, se han adoptado otras normas que han supuesto un incremento de los peajes de acceso para los consumidores, y por consiguiente, de los ingresos del sistema eléctrico.

Como puede comprobarse, las medidas adoptadas durante 2013 se han proyectado de forma proporcional y equilibrada sobre los diferentes sujetos del sector eléctrico, en términos que, con los elementos de juicio disponibles al iniciarse el año 2013, parecían permitir alcanzar el objetivo de suficiencia tarifaria a principios de dicho año, gracias al esfuerzo soportado por los consumidores y empresas que operan en el sector y a las partidas presupuestarias destinadas al efecto.

Por esta razón, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, en el ejercicio presupuestario que supone la elaboración de la *Orden IET/221/2013, de 14 de febrero, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2013 y las tarifas y primas de las instalaciones del*

régimen especial [REF. 12], procedió a mantener el precio de los peajes de acceso a las redes al considerar que los ingresos serían suficientes para cubrir los costes del sistema en el año 2013.

Sin embargo, durante el primer semestre de 2013 se produjeron una serie de hechos que variaron las hipótesis sobre las que se realizaron las estimaciones a principio de año y cuya consecuencia sería la aparición de nuevos desajustes al final del año si no se hubieran tomado medidas de urgencia para corregir la situación.

Estas desviaciones vinieron motivadas porque en los primeros meses del año 2013 existieron unas condiciones meteorológicas atípicas y el nivel de lluvias y las condiciones de viento fueron muy superiores a las medias históricas. Estas condiciones provocaron un doble efecto. Por un lado, ocasionaron el hundimiento del precio del mercado diario hasta un nivel mínimo de 18,17 €/MWh de media en el mes de abril de 2013, ya que el coste eólico es prácticamente cero, dando como resultado un precio medio en los seis primeros meses de 2013 que no alcanza los 37 €/MWh, muy inferior a los 51,19 €/MWh previstos para el conjunto del año. Por otro lado, se produjo un incremento de las horas de funcionamiento de determinadas tecnologías, y en particular de la eólica con derecho a régimen primado. Todo ello determinó una notable desviación al alza del sobre coste del régimen especial, como consecuencia de los menores precios del mercado registrados.

También, por efecto de la reducción de la actividad económica y la insistencia de la crisis económica sobre las economías domésticas, se ha producido una reducción en la demanda mayor de lo previsto. Así, el balance eléctrico publicado por Red Eléctrica de España [REF. 13], como operador del sistema, mostraba a fecha 5 de julio de 2013 una disminución de la demanda de 2,7 por ciento en esos meses del año 2013, y una caída de un 2,3 por ciento en el último año móvil frente a una caída estimada del 0,3 por ciento considerada en la *Orden IET/221/2013, de 14 de febrero* [REF. 12]. Este hecho tiene un impacto negativo derivado de la reducción de los ingresos por peajes de acceso de energía eléctrica.

En definitiva, los continuos cambios normativos han supuesto una importante distorsión en el normal funcionamiento del sistema eléctrico. La necesidad de acometer las reformas necesarias para garantizar la sostenibilidad del sistema a largo plazo y de resolver las deficiencias existentes en el funcionamiento del sistema, dio como resultado la aprobación de la *Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico* [REF. 14], que tiene como finalidad básica la regulación del sector eléctrico garantizando el suministro eléctrico con los niveles necesarios de calidad y al mínimo coste posible, asegurar la sostenibilidad económica y financiera del sistema y permitir un nivel de competencia efectiva en el sector eléctrico, todo ello dentro de los principios de protección medioambiental de una sociedad moderna.

Es importante que dichas regulaciones garanticen un servicio de calidad, al mínimo coste y a su vez que sea sostenible económica y ambientalmente, ya que de esto depende que la implantación del coche eléctrico sea vista por los usuarios como una solución al déficit tarifario, y a los altos niveles de contaminación que se dan en las ciudades por culpa de los motores de combustión.

3 PARQUE ACTUAL

El Parque de Vehículos de España en 2013 [\[REF. 15\]](#) está compuesto por 31.186.129 vehículos, clasificados por tipos de la siguiente forma:

Tipo vehículo	Furgonetas y Camiones	Autobuses	Turismos	Motocicletas	Total
Número	4.930.725	60.324	22.227.173	2.910.323	31.186.129

Tabla 1: Parque de vehículos actual

Para este estudio nos vamos a centrar en los turismos, ya que es el sector que tiene mayor potencial para ser electrificado.

La relación entre población y parque de automóviles en España desde el año 1985 hasta el 2013 ha pasado de 4 a 2 personas por coche. Dando un total de 22.227.173 de turismos, es decir la mitad de la población española tiene un vehículo turismo.

El total de automóviles de turismo se dividen por cilindrada en:

Cilindrada	Hasta 1.199 cc	De 1.200 a 1.599 cc	De 1.600 a 1.999 cc	>1.999cc
Número	2.460.718	8.308.577	9.236.109	2.240.109

Tabla 2: Automóviles según cilindrada

Si diferenciamos entre el tipo de carburante, vemos que la relevancia de los automóviles de turismo de gasoil en el parque a nivel nacional ha aumentado. En 2003 el 42% de los vehículos utilizaba ese combustible, mientras que en 2012 un 55% utilizan este carburante y el otro 45% utiliza gasolina.

Son un total de 11.937.569 de vehículos de turismo a gasoil y 10.305.113 de gasolina.

Desde 2003 hasta 2013 el parque automovilístico ha aumentado desde los 18.688.325 hasta 22.227.173, lo que supone un incremento de un 16%.

Para el resto de vehículos, camiones, furgonetas y autobuses, en su mayoría consumen gasoil y motocicletas en su totalidad consumen gasolina.

3.1 EMISIONES DEL PARQUE

La combustión de los carburantes genera gases que son expulsados a la atmósfera. Los gases que vamos a estudiar son los dióxidos de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos que contienen azufre (SO₂), materia particulada (PM), hidrocarburos sin quemar (HC's) y olores.

A continuación definiremos los componentes más relevantes [\[REF. 16\]](#).

3.1.1 Materia Particulada (PM)

Son partículas en suspensión en el aire de origen natural si son mayores de $10\ \mu\text{m}$ o provenientes de la combustión si su diámetro está entre $1\text{-}10\ \mu\text{m}$.

Las PM₁₀ son partículas gruesas, cuya composición puede ser silicatos y alúminos, metales pesados y material orgánico asociado a partículas de carbono y en el caso de ser respiradas sufren deposición inercial en la nariz o garganta, quedando atrapadas en las mucosas

Las PM_{2.5} son partículas muy finas cuyo diámetro es inferior o igual a $2.5\ \mu\text{m}$, su composición son metales pesados y compuestos orgánicos. Su origen está principalmente en fuentes de carácter antropogénico como las emisiones de los vehículos diésel. Su tamaño hace que sean respirables, penetrando en el sistema respiratorio pudiéndose depositar en los alveolos pulmonares, incluso pueden llegar al torrente sanguíneo.

Dichas partículas están asociadas a numerosos efectos negativos sobre la salud, como el aumento de enfermedades respiratorias (bronquitis) y la disminución del funcionamiento pulmonar.

Límites máximos en el aire

El valor de la concentración media diaria de PM_{2,5} durante el año en Madrid es de $19,1\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Según la OMS, para valores medios anuales de $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ se ha detectado asociación entre efectos cardiopulmonares y mortalidad por cáncer de pulmón debido a la exposición prolongada a PM_{2,5}.

3.1.2 Óxidos de nitrógeno (NO_x)

De todos los tipos de óxidos de nitrógeno, solo el NO y el NO₂ son reconocidos como contaminantes atmosféricos. Juntos se denominan NO_x.

Las fuentes antropogénicas de NO_x son del orden del triple de las naturales. La combustión es la fuente de primera magnitud. Se produce por la combinación de temperatura, oxígeno y nitrógeno en el interior de los cilindros. Las moléculas de nitrógeno del aire por efecto de las altas temperaturas en la cámara de combustión se combinan con las del oxígeno.

Límites máximos en el aire

El valor medio máximo anual para la concentración de los óxidos de nitrógeno en la atmósfera es de $100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$

La concentración máxima de NO_x en la atmósfera durante una hora no debe superar los $200\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Efectos en el ambiente

El NO₂ es un potente gas de efecto invernadero, 200 veces superior al CO₂ y su tiempo de permanencia en la atmósfera es de 150 años.

Produce lluvia ácida. El dióxido reacciona con el agua para formar ácido nítrico que resulta ser un ácido corrosivo.

En concentración de 0,25 ppmv causa un apreciable efecto en la visibilidad (gas pardo-rojizo).



Ilustración 1: Contaminación en Madrid

Efectos sobre la salud

Los óxidos de nitrógeno son en general muy reactivos y al inhalarse afectan al tracto respiratorio. El NO₂ afecta a los tramos más profundos de los pulmones, inhibiendo algunas funciones de los mismos, como la respuesta inmunológica, produciendo una merma de la resistencia a las infecciones. Asimismo, la exposición crónica a bajas concentraciones de NO₂ se ha asociado con un incremento en las enfermedades respiratorias crónicas, el envejecimiento prematuro del pulmón y con la disminución de su capacidad funcional.

3.1.3 Hidrocarburos sin quemar (HC's)

Los HC's denominados compuestos volátiles orgánicos son hidrocarburos sin quemar provenientes de la combustión. Uno de ellos es el metano.

Las emisiones de metano de origen antropogénico son el doble que las de origen natural.

Límites

Dado que los hidrocarburos son de composición muy distinta y sus efectos son primordialmente debido a los contaminantes secundarios que originan, la UE no los regula explícitamente.

Efectos en el ambiente.

El metano es un gas de efecto invernadero relativamente potente, es 23 veces superior al CO₂ y su tiempo de permanencia es de 100 años.

Los HC's en conjunto con los óxidos de nitrógeno forman oxidantes fotoquímicos. Estos son componentes del smog o niebla fotoquímica, la cual es dañina para la salud del hombre, animales y plantas.

3.1.4 Compuestos que contienen azufre

El dióxido y trióxido de azufre son los gases contaminantes más frecuente de la atmósfera. Solo el 3% de estos gases proceden del transporte.

Los combustibles contienen azufre que al arder genera SO₂. La mayoría de los combustibles usados para el transporte están reformulados y no contienen azufre.

Efectos en el ambiente

El dióxido de azufre mediante los cambios catalíticos y fotoquímicos en la atmósfera junto con un ambiente cálido y húmedo favorece la formación de ácido sulfúrico en forma de gotas, que es responsable de la corrosión de metales, plásticos y fibras sintéticas.

La lluvia ácida puede conducir a la deforestación y al agua superficial. Dicha lluvia puede ocurrir a cientos de kilómetros de la fuente generadora.

Efectos sobre la salud

El dióxido de azufre es un gas irritante para las vías respiratorias a partir de 3 ppmv.

La presencia de oxidantes fuertes en la atmósfera irritan las vías respiratorias pero la presencia de estas sustancias en la atmósfera es baja, del orden de 10 ppmv.

Según la directiva de la UE de sustancias contaminantes las, las concentraciones máximas para el SO₂ son las siguientes:

- La concentración máxima anual de azufre en el aire está entre los 80 y 120 µg /m³.
- La concentración media diaria está entre 250 y 350 µg/m³.

3.1.5 MODELIZADO EN GREET

Tras conocer cada uno de los contaminantes más frecuentes producidos por la combustión, modelaremos un coche gasolina y otro diésel para conocer los gramos/Km que emite cada uno de los dos motores.

En este apartado, tendremos que definir también la ruta del petróleo desde que llega a España hasta llega a la gasolineras en forma de carburantes. Esta ruta la encontraremos en el anexo 6.1

Los contaminantes típicos que emite un motor diésel son CO₂, PM, NO_x y SO₂

Los contaminantes típicos que emite un motor gasolina son CO₂, CO y HC's

3.1.5.1 Coche de gasolina

Creamos un coche de gasolina del 2005 ya que la media de edad del parque español es de 8 años de antigüedad y con un consumo medio de 8.5 l/100 Km.

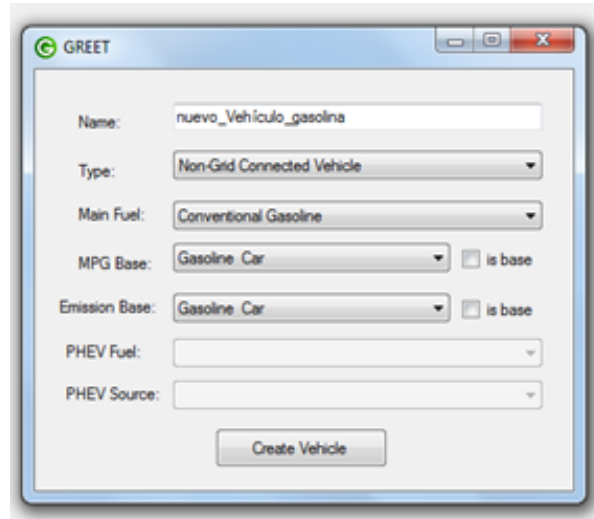


Ilustración 2: Greet coche gasolina

Debido a que los turismos de 2005 debían cumplir la ley de emisiones Euro IV, introducimos las emisiones máximas permitidas en mg/Km.

Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor de gasolina						
	válido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	12/92	2,72	-	-	0,97	-
Euro II	01/97	2,20	-	-	0,5	-
Euro III	01/00	2,30	0,20	0,15	-	-
Euro IV	01/05	1,00	0,10	0,08	-	-
Euro V	09/09	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
Euro VI	08/14	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

Tabla 3: Emisiones máximas gasolina

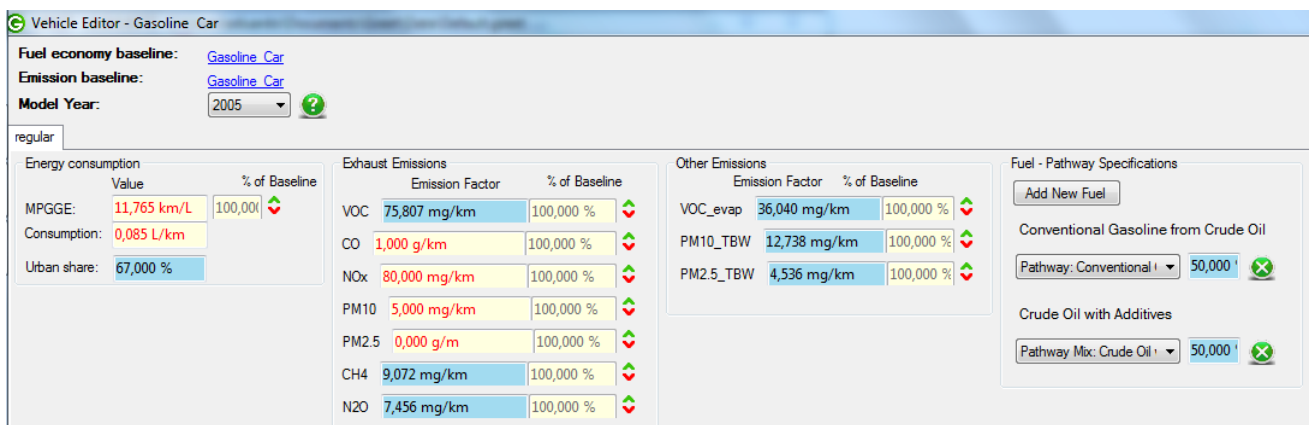


Ilustración 3: Coche de gasolina

El denominado Urban share es el tiempo que el vehículo va a circular por la ciudad. Hemos supuesto que sería el 67% del tiempo de vida del vehículo.

El Greet nos devuelve a continuación una tabla en la que se muestra la cantidad/km. Diferencia entre las emisiones en ciudad y dentro de un territorio, así como entre las emisiones propias del uso de un vehículo y las emisiones totales, que tienen en cuenta las emisiones generadas durante el refinamiento del combustible, el transporte hasta la refinería y al salir de ella.

Resultados por Km	Operación del vehículo	Total
Energía total	755,77Wh/Km	920Wh/Km
Emisiones		
VOC	75,8 mg/km	146,79 mg/km
CO	1g/km	1g/km
NOx	80mg/km	203mg/km
PM10	5mg/km	24,32mg/km
PM2.5	0g/km	10,43g/km
SOx	3,22mg/km	72,18mg/km
CH4	9,07 mg/km	380,78 mg/km
CO2	195,87 g/km	240,03 g/km
N2O	7,45 g/km	10,43 g/km
CO2 biogénico	-4,15 g/km	-4,23 g/km
Gas efecto invernadero	194,172g/km	248,43g/km
Urbano		
VOC	50,79mg/km	56,54mg/km
CO	0,67g/km	0,682g/km
NOx	53mg/km	91,48mg/km
PM10	3,35mg/km	8,561mg/km
PM2.5	0g/km	3,37g/km
SOx	2,16mg/km	30,97mg/km
CH4	6,07mg/km	22,42mg/km
CO2	131,2 g/km	157,8 g/km
N2O	4,99 g/km	5,313 g/km
CO2 biogénico	-2,78 g/km	-2,78 g/km

Tabla 4: Emisiones gasolina

3.1.5.2 Coche diésel

En el caso de los vehículos diésel seguimos el mismo procedimiento que para modelizar el de motor de gasolina.

Tomamos la Normativa euro IV del 2005 para turismos diésel.

Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor diésel						
	válido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	01/92	3,16	-	-	1,13	0,14
Euro II	01/96	1,00	0,15	0,55	0,70	0,08
Euro III	01/00	0,64	0,06	0,50	0,56	0,05
Euro IV	01/05	0,50	0,05	0,25	0,30	-
Euro V	09/09	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005
Euro VI	08/14	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005

El nivel de emisiones para vehículos con motor diésel

Tabla 5: Emisiones coche diésel

Suponemos un consumo medio de gasoil de 6,3 l/100 Km y el porcentaje de uso urbano lo mantenemos al 67%.

Resultados por Km	Operación del vehículo	Total
Energía total	560 Wh/Km	672Wh/Km
Emisiones		
VOC	54,6mg/km	70,16 mg/km
CO	500 mg/km	522 mg/km
NOx	250 mg/km	338,2mg/km
PM10	25mg/km	38,03mg/km
PM2.5	25mg/km	32,30g/km
SOx	1,04mg/km	49,73mg/km
CH4	1,61mg/km	273,22 mg/km
CO2	150,17 g/km	181,31 g/km
N2O	7,45 g/km	7,87 g/km
CO2 biogénico	0 g/km	-59,158 g/km
Gas efecto invernadero	152,43g/km	190,43g/km
Urbano		
VOC	36,63mg/km	40,03mg/km
CO	335 mg/km	0340,97 mg/km
NOx	167,5 mg/km	183,35mg/km
PM10	16,75mg/km	19,83mg/km
PM2.5	16,75mg/km	18,62g/km
SOx	697,54mg/km	13,45mg/km
CH4	1,08mg/km	5,856mg/km
CO2	100,6 g/km	112,856g/km
N2O	4,99 g/km	5,156 g/km
CO2 biogénico	-0 g/km	-0g/km

Tabla 6: Emisiones coche gasoil

A pesar de que los diésel generan llamas de difusión y que no generan CO en los cilindros, cuando los gases son expulsados, una mínima parte de combustible sin quemar arde en el interior del tubo de escape con déficit de oxígeno. Esto genera CO

3.1.5.3 Análisis de los resultados

Para hacer el estudio de los contaminantes de un vehículo habrá que tener en consideración, tanto las emisiones del vehículo en su operación, como otras emisiones indirectas que se producen en el transporte del carburante, desde la refinería hasta el punto de suministro y también los procesos de refinado.

El problema de las emisiones de los vehículos se acentúa en las ciudades, prestando especial atención a los óxidos de nitrógeno (NOx), materia particulada (PM) y óxidos de azufre (SO₂), que en determinadas concentraciones resultan perjudiciales para la salud.

Si nos fijamos en los datos de un **coche de gasolina** vemos que tiene un impacto en el ambiente de 240 g de CO₂/Km, 380 mg de CH₄/Km y de 203,05 mg de NOx/Km. Estos dos contaminantes son gases de efecto invernadero, y en concreto el metano tiene un potencial de calentamiento 25 veces superior al CO₂, pero debido a que la concentración de CH₄ en la atmósfera es mucho menor que la de CO₂, el del metano contribuye de manera menos importante al efecto invernadero.

Por tanto, un vehículo gasolina contribuye en 243,29 g/Km en gas de efecto invernadero.

En las zonas urbanas, en el caso de los coches de gasolina vemos que estos valores son: 8,5mg de PM₁₀/km, 3,35mg de PM_{2,5} /Km, 30,971 mg de SOx/Km y 91,488 mg de NOx/Km

En el caso de un **coche diésel** vemos que su impacto en el ambiente es de 181,01 g de CO₂/km, 273,22 mg de CH₄/km y de 338 mg de NOx/km.

Un coche de gasoil contribuye en 190.433 g/Km en gas de efecto invernadero.

Si analizamos las emisiones en la ciudad del vehículo diésel vemos que los valores son: 16,75 mg de PM₁₀/km, 18,621 mg de PM_{2,5}/Km, 13,451 mg de SOx/Km y 183,357 mg de NOx/Km

Si solo contáramos las emisiones provenientes del uso del vehículo:

- En el caso del **coche de gasolina** son 195 g de CO₂/Km, 9,072 mg de CH₄/km y de 80 mg de NOx/Km, 5 mg de PM₁₀/km, 0 mg de PM_{2,5}/Km, 3,229 mg de SOx/Km.
- En el caso del **coche de gasoil** son 150 g de CO₂/Km, 1,616 mg de CH₄/km y de 250 mg de NOx/Km, 25 mg de PM₁₀/km, 25 mg de PM_{2,5} /Km, 1,041 mg de SOx/Km.

Vemos que el CO₂ emitido por un vehículo diésel es inferior al de un gasolina en un 20%, pero en el caso de los NOx y de las PM el diésel emite un 68% y un 80% más respectivamente.

Al año un coche de gasolina y un diésel emite a la atmósfera 4.865 Kg y 3.800 Kg de gas de efecto invernadero respectivamente.

Si tenemos en cuenta **todos los coches gasolina y diésel del parque se generaría al año 48,65 millones y 45,6 millones de Toneladas de gas de efecto invernadero respectivamente, dando un total de 94,25 millones de Toneladas de gas de efecto invernadero.**

Las emisiones anuales del parque automovilístico actual son de 94,25 millones de toneladas de gas de efecto invernadero.

Si comparamos estos datos con las emisiones de una central de carbón de 1GW en un año que será de unos 1 millón de Toneladas de gas efecto invernadero vemos que el parque automovilístico genera unas emisiones equivalentes a 94 centrales de carbón.

3.2 GENERACIÓN ACTUAL

OBJETIVO: A continuación vamos a describir el mapa de generación actual así como la curva de demanda, con el objetivo de identificar las horas del día en el que disminuye la demanda y las tecnologías que podrían usarse para generar la energía suficiente para recargar las baterías de un parque automovilístico exclusivamente eléctrico.

De este modo podremos estudiar una posible estrategia de recarga para dicho parque eléctrico.

La cobertura de la demanda energética peninsular según el informe anual de REE en 2013 [\[REF. 17\]](#) es la siguiente:

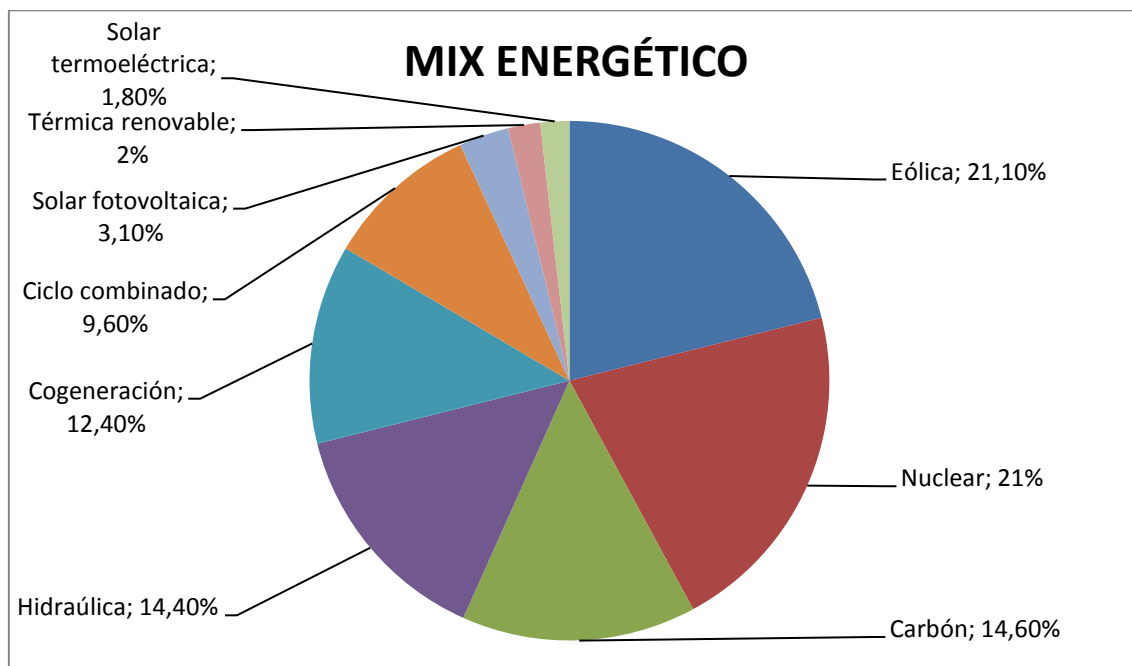


Tabla 7: Mix energético peninsular 2013

Actualmente en España hay una potencia instalada de 102.281 MW y una energía consumida total de 260.160 GWh al año. Los tipos de generación son los siguientes:



- **Eólica:** Hay una potencia instalada de 22.746 MW, un porcentaje de uso del 27% y genera una media de 6.155 MWh. Representa el 21,1% de la energía generada.
- **Nuclear:** Hay una potencia instalada de 7.866 MW, tiene un porcentaje de uso del 82,2% y genera una media de 6.435 MWh. Representa el 21% de la energía generada.
- **Carbón:** Con 11.131 MW de potencia instalada y un porcentaje de uso del 40,8%, genera una media de 4.542 MWh. Representa el 14,6% de la energía generada.

Actualmente todas las centrales térmicas queman hulla importada de: Colombia (40%), Sudáfrica (26%), Indonesia (4%), Noruega (3%), Reino Unido (1%).

Las plantas eléctricas alimentadas con carbón están desarrollando actualmente tres prometedores métodos de captura de CO₂: la captura pre combustión, la captura poscombustión y la oxicomustión (Oxyfuel).

Las plantas de carbón tienen un rendimiento del 40%. Para generar 1 KWh de electricidad se necesitan 2,6 KW de carbón, es decir 275 g de carbón.

- **Pequeña hidráulica:** Tiene una potencia instalada de 17.765 MW, un porcentaje de uso del 20% y genera una media de 3.900 MWh. Representa el 12,0% de la energía generada.
- **Gran hidráulica:** Tiene una potencia instalada de 2.057 MW, tiene un porcentaje de uso del 38% y genera una media de 800 MWh. Representa el 2,4% de la energía generada.
- **Cogeneración** (térmica no renovable): Hay una potencia instalada de 7.127 MW, tiene un porcentaje de uso del 51% y genera una media de 3.653 MWh. Representa el 12,4% de la energía generada.
- **Ciclo combinado:** Potencia instalada de 25.350 MW, tiene un porcentaje de uso del 11% y genera una media de 2.900 MWh. Representa el 9,6% de la energía generada. Las centrales de ciclo combinado tienen un rendimiento del 60%. Para generar 1 KWh de energía eléctrica es necesario 2,425KWh de gas natural, es decir 0,21 m³ de gas.
- **Solar fotovoltaica:** Hay una potencia instalada de 4.438 MW, tiene un porcentaje de uso del 20% y genera una media de 911 MWh. Representa el 3,1% de la energía generada.
- **Térmica renovable:** Hay una potencia instalada de 979 MW, tiene un porcentaje de uso del 58% y genera una media de 572 MWh. Representa el 2% de la energía generada.
- **Solar termoeléctrica:** Hay una potencia instalada de 2.300 MW, tiene un porcentaje de uso del 20% y genera una media de 462 MWh. Representa el 1,8% de la energía generada.

La potencia instalada es de 102.281 MW

La energía consumida al año es de 260.160 GWh y la energía consumida diaria es de 712 GWh

	Potencia instalada	Energía media horaria	% Uso Diario
Nuclear	7866 (MW)	6435.8 (MWh)	82%
Eólica	22746 (MW)	6155 (MWh)	27%
Hidráulica	19822(MW)	3900 (MWh)	20%
Solar	6738 (MW)	1422 (MWh)	20%
Carbón	11131 (MW)	4542 (MWh)	40.8%
Ciclo Combinado	25350 (MW)	2900.5 (MWh)	11%
Térmica Renovable	979(MW)	572(MWh)	58%
Cogeneración	7127 (MW)	3653 (MWh)	51%

Tabla 8: Potencia, energía media y uso diario

3.2.1 Emisiones

Teniendo en cuenta el mix de generación actual visto en 3.2 GENERACIÓN ACTUAL, vamos a calcular las emisiones asociadas a la producción de electricidad [REF. 19]. Para esto, debemos aplicar un factor de emisión de CO₂, también llamado mix eléctrico (g de CO₂/kWh). Este mix eléctrico representa las emisiones asociadas a la generación eléctrica anual de España.

Para calcular dichas emisiones se utilizan las metodologías internacionales GHG Protocol7 y la norma ISO 140 698. También se incluyen las emisiones indirectas derivadas de la generación de electricidad por el conjunto de centrales productoras de la red. Por tanto, el mix que se recomienda utilizar es el mix que refleja las emisiones de la red eléctrica peninsular asociadas a la producción bruta de energía eléctrica.

A partir del 1 de marzo de 2014, el mix eléctrico que se recomienda utilizar no incluye la producción bruta de energía eléctrica proveniente de fuentes de energía renovable certificada con garantía de origen (GdO). Este cambio se produce para evitar la doble contabilidad del factor de emisión de las renovables, ya que se pueden adquirir mediante el sistema de garantías de origen, las cuales ya se consideran con un factor de emisión de 0 g CO₂/kWh en su contribución al mix eléctrico.

El mix de producción bruta de energía eléctrica peninsular recomendado para el año 2013 es 248 g CO₂/kWh.

En este mix se descuenta la generación bruta de fuentes de energía renovable con GdO.

Podemos conocer las emisiones de forma aproximada si hacemos unas sencillas cuentas:

Factores de Emisión típicos de las centrales:

- Central Térmica de Carbón: 1 KgCO₂/kWh
- Central Térmica de Ciclo Combinado de Gas Natural: 0,37 KgCO₂/kWh
- Central Térmica de Fuel + Gas: 0,70 KgCO₂/kWh
- Hidráulica: 0,00 KgCO₂/kWh
- Nuclear: 0,00 KgCO₂/kWh
- Eólica: 0,00 KgCO₂/kWh
- Resto del Régimen Especial: 0,25 KgCO₂/kWh
- Conexiones Internacionales: no se añaden las emisiones de la electricidad importada ni se deducen las de la exportada.

Dentro del apartado “Resto del Régimen Especial” tenemos:

- Cogeneración: 0,37 KgCO₂/kWh
- Biomasa: 0,00 KgCO₂/kWh
- Residuos: 0,24 KgCO₂/kWh
- Hidráulica: 0,00 KgCO₂/kWh
- Solar: 0,00 KgCO₂/kWh

Una manera de conocer el mix energético español de forma aproximada es multiplicar el mix de cada una de las fuentes de energía por su factor de contribución de la demanda.

Carbón: $1.000 \text{ gCO}_2/\text{KWh} \cdot 0,146 = 146 \text{ gCO}_2/\text{KWh}$

Ciclo Combinado: $380 \text{ gCO}_2/\text{KWh} \cdot 0,096 = 36.48 \text{ gCO}_2/\text{KWh}$

Cogeneración: $380 \text{ g CO}_2/\text{KWh} \cdot 0,124 = 47.12 \text{ gCO}_2/\text{KWh}$

Termica Renovable: $240 \text{ g CO}_2/\text{Kwh} \cdot 0,02 = 4,8 \text{ g CO}_2/\text{KWh}$

Mix energético=
=234 gCO₂/KWh

Si modelizamos el sistema de generación español en Greet:

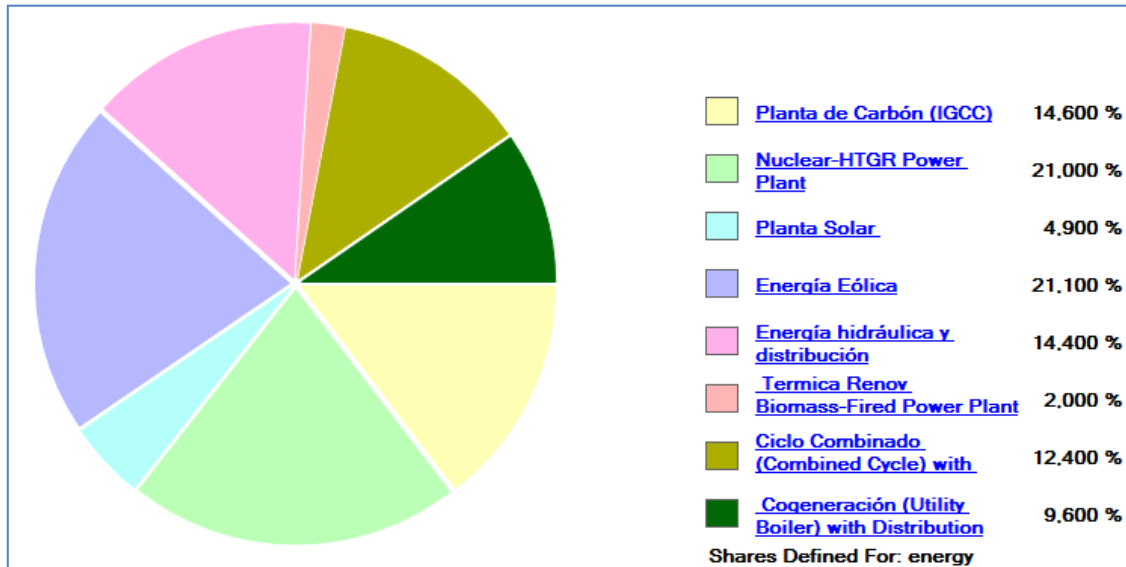


Ilustración 4: Greet mix energético

Per	1000 Wh
Emissions	
Life Cycle	---
Emissions	---
VOC	27,979 mg
CO	158,004 mg
NOx	254,881 mg
PM10	254,040 mg
PM2.5	90,943 mg
SOx	50,237 mg
CH4	1,156 g
N2O	9,730 mg
CO2	278,345 g
CO2Biogenic	-38,392 g
Groups	---
Greenhouse Gas	271,747 g

Tabla 9: Emisiones del mix según Greet

El mix energético español de 2013 tras modelizarlo en GREET genera 278,345 g CO₂/KWh. Si descontamos el CO₂ biogénico, el mix queda en 240 gCO₂/KWh. Este dato es acorde al que publica REE en su informe anual.

En cuanto a emisiones de efecto invernadero se sitúa en 271,74 g/KWh que, multiplicados por la generación anual energética peninsular serán de 70,5 millones de toneladas de gas efecto invernadero.

El mix actual peninsular genera al año 70,5 millones de toneladas de gas efecto invernadero

3.3 RECARGA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Cuando llevemos a cabo la recarga en un enchufe doméstico tendremos una tensión de 220 V y una intensidad de 16 amperios. Lo que nos da una potencia de 3.680 W.

$$230 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} = 3.680 \text{ W}$$

Las baterías del vehículo suponemos que tendrán una capacidad de energía de 10 kilovatios por hora, suficientes para mover un utilitario durante 80 Km. Como nuestro enchufe de casa tiene una potencia de 3,68 KW, la batería tardará en cargarse algo menos de 3 horas

$$10 \text{ KWh} / (3,68 \text{ KW}) = 2,7 \text{ horas}$$

Si tenemos en cuenta las pérdidas de rendimiento en las trasferencias y trasformaciones de energía en forma de calor, en nuestro cálculo tendremos que introducir un rendimiento eléctrico. Aproximadamente las pérdidas de energía eléctricas rondarán el 15% así que la potencia útil de recarga no es 3,68 kW sino unos 3,2 kW.

$$3,68 \text{ KW} \cdot 85 / 100 = 3,2 \text{ KW}$$

$$10 \text{ KWh} / 3,2 \text{ KW} = 3,125 \text{ h}$$

La recarga de nuestro vehículo nos llevaría algo más de tres horas consumiendo una potencia horaria de 3,68 KW y una energía total de 11,5 KWh.

Si observamos la Ilustración 5 (pág.24) y la Ilustración 6 (pág. 24), la curva de demanda energética de España [\[REF. 17\]](#) cae drásticamente durante las horas valle la demanda, desde las 23 horas hasta las 5 h del día siguiente.

Curva característica en invierno

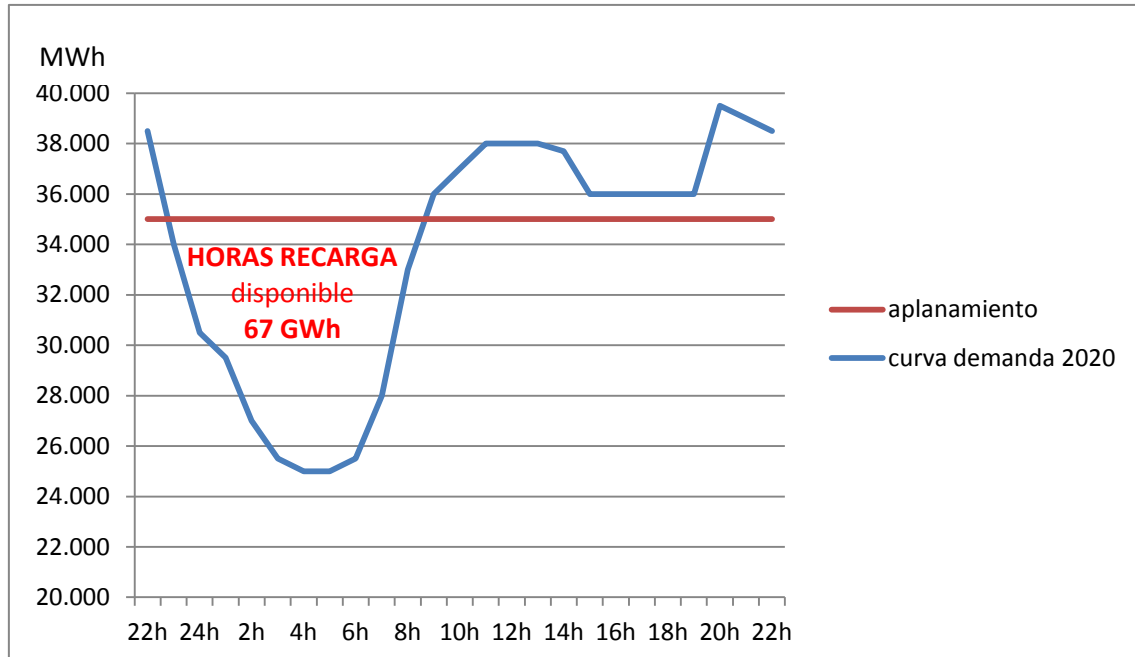


Ilustración 5: Curva demanda invierno característica

Curva característica en verano

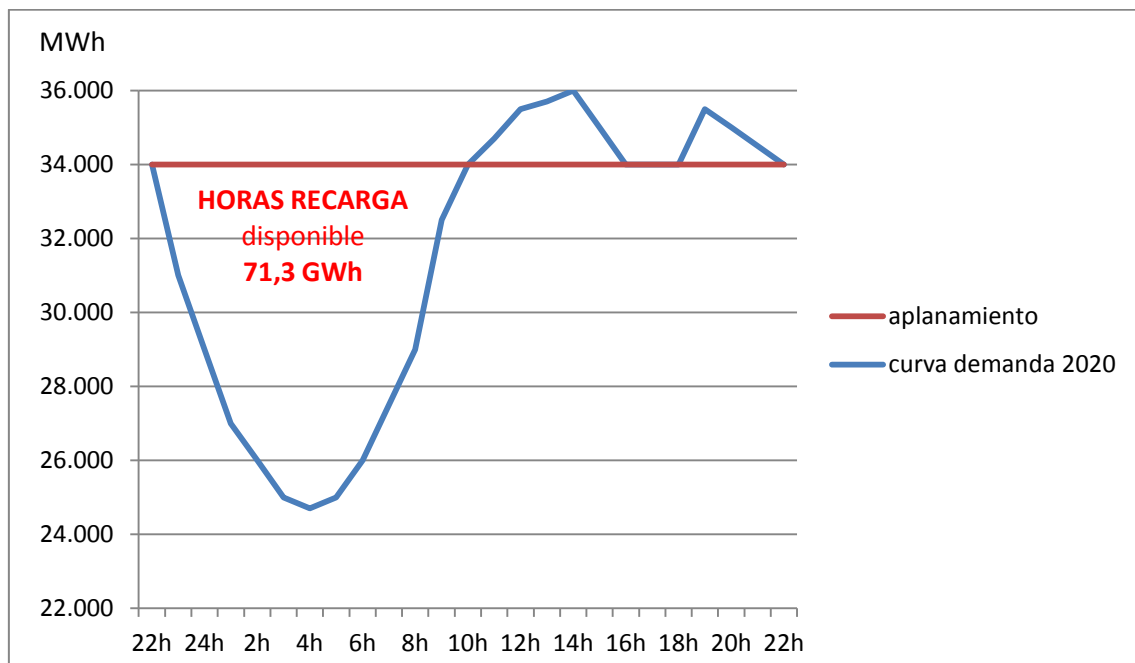


Ilustración 6: Curva demanda verano característica

En estas horas valle tenemos aproximadamente una caída de la demanda energética de 67 GWh en invierno.

En invierno hemos tomado el diagrama de demanda del 27 de febrero de 2013 ya que fue el día con mayor demanda energética y en verano un día cualquiera ya que no varía demasiado a lo largo del trimestre.

En el caso de que se cargaran las baterías de los vehículos eléctricos durante estas horas valle se produciría un aumento de la demanda y habría que estudiar si esta demanda extra podría ser satisfecha por las energías renovables, que actualmente en las horas nocturnas se deja de generar mediante renovables por la falta de demanda.

Para saber qué tipo de centrales usar para recargar las baterías habría que estudiar la curva de demanda a lo largo del día, ya que los porcentajes de generación de cada tecnología cambian.

Durante el invierno, el día 27 de febrero en concreto, se generó un máximo de energía eléctrica de 38.000 MWh desde las 9:00 hasta las 13:00 y de 39.000 MWh entre las 21 y las 22.

Teniendo en cuenta el valor de la demanda en la hora pico, habría que preguntarse qué tecnologías de generación fueron usadas para cubrir esa demanda y si se podría mantener en el tiempo dicha generación con el mínimo impacto ambiental, para que fuera viable económica y ambientalmente recargar las baterías en las horas valle.

3.4 NECESIDAD DE MEJORA DEL PARQUE

Tras haber analizado en el apartado 3.1 las emisiones del parque actual, se ve necesaria una disminución de las emisiones contaminantes. El coche eléctrico es una buena tecnología para conseguirlo. En el capítulo siguiente realizamos una descripción de las posibles soluciones tecnológicas.

4 SOLUCIONES TECNOLÓGICAS

Como se ha visto en los apartados 3.1, 3.2 y 3.3 del capítulo anterior, es necesario reducir las emisiones generadas por los vehículos así como modificar la curva de demanda energética peninsular. La solución a estos problemas puede llegar gracias al coche eléctrico. En este capítulo se estimarán las necesidades energéticas del parque automovilístico eléctrico para lograr una buena integración en la sociedad y modificar la curva de demanda peninsular.

4.1 PARQUE FUTURO

El Gobierno preveía para 2010 la matriculación de unos 2.000 vehículos eléctricos (no llegaron en realidad ni a una cuarta parte), que se convertirían en 20.000 unidades a finales de 2011, y se dispararían hasta las 50.000 en 2012, llegando a 70.000 en 2013 y un aumentando muy considerable en 2014 con una cota de 110.000 coches. Los planes del Gobierno pasaban por alcanzar en cuatro años un parque de vehículos eléctricos que alcanzase las 250.000 unidades.

Si miramos hacia atrás nos daremos cuenta que esas previsiones eran demasiado optimistas. Tomando las cifras reales de ventas, vemos que en 2010 se matricularon 70 automóviles eléctricos; en 2011 se vendieron 377 vehículos eléctricos; en 2012, 484 vehículos, lo que supone un 28% más; en 2013, 811, que es un 85,5% más que el año anterior. En el primer

semestre de 2014 se han matriculado 292 lo que supone un descenso del 10,98% respecto primer semestre de 2013.

Al ritmo actual de matriculaciones, en 2020 habrá unos 50.000 vehículos eléctricos, lejos de los 2,5 millones previstos por la U.E. [\[REF. 1\]](#)

4.2 NUEVOS VEHÍCULOS

Para futuros escenarios vamos a suponer que, aparte de los vehículos con motores gasolina y diésel, llegará un nuevo tipo de vehículos, los utilitarios eléctricos que estarán especialmente diseñados para su uso por grandes ciudades.

Este tipo de utilitarios tendrán una batería de unos 10 KWh, capaz de recorrer con ella unos 60 Km, un motor eléctrico de 65 KW (80 C.V) y un peso en orden de marcha de unos 1.600 Kg contando las baterías.

Contará también con un pequeño motor térmico a modo de generador de electricidad para que en el caso de quedarnos sin energía por parte de las baterías, el coche pueda seguir circulando hasta un punto de recarga.

Hemos elegido baterías de 10 KWh por tres motivos:

- Tienen autonomía suficiente para realizar el recorrido medio diario de los ciudadanos.
- Son suficientes para recorrer al año 20.000 Km.
- Al no tener mucha autonomía tienes la obligación de cargarlas todos los días y así es más fácil planificar la generación de electricidad.

4.3 COSTES PARA EL USUARIO

Para estudiar los gastos del nuevo vehículo eléctrico, vamos a compararlo con un vehículo gasolina y diésel similar.

Un coche acarrea una de las mayores inversiones para los ciudadanos por detrás de la vivienda. Al precio de adquisición hay que añadirle los gastos en combustible, revisiones, impuestos de circulación, seguro, etc.

Supondremos un recorrido anual de 20.000 Km y una vida media de 10 años para realizar los cálculos.

A continuación detallamos los costes anuales por kilómetro de un automóvil utilitario.

4.3.1 Costes de un vehículo de gasolina

El precio de un coche gasolina medio puede ser de 15.000 €

El coste de las revisiones para un automóvil de gasolina puede ser:



Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KM	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000	180.000	200.000
neumáticos			300,00 €			300,00 €			300,00 €	
frenos			300,00 €			300,00 €			300 €	
lubricantes	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €
Correas, bujías, cables					600,00 €					600,00 €
Embrague								300,00 €		
Total	100,00 €	100,00 €	700,00 €	100,00 €	700,00 €	700,00 €	100,00 €	400,00 €	700,00 €	700,00 €
Total 10 años		4.300,00 €								

Tabla 10: Revisiones gasolina

$$\text{Coste anual medio de revisiones} = \frac{\text{coste total 10 años}}{10 \text{ años}} = 430 \text{ €/año}$$

Coste anual gasolina suponiendo un consumo de 8,5 l cada 100 km se puede calcular como:

$$20.000 \text{ km} \cdot \frac{8,5 \text{ l}}{100 \text{ km}} = 1.700 \text{ l}$$

$$1.700 \text{ l} \cdot 1,5 \text{ €/l} = 2.550 \text{ €}$$

Coste seguro anual: 400 €

Impuesto anual de circulación: 300 €

Sumando los costes anuales anteriores, el **Coste total anual es de 3.680 €**

En el supuesto de los 20.000 Km anuales, el coste por Km recorrido sería de

$$3.680 \text{ €} / 20.000 \text{ km} = 18,4 \text{ c€/km}$$

El Coste de un coche gasolina por Km recorrido es de 18,4 c€/Km

Si incluimos también la amortización del precio del coche (15.000 €) en los 10 años de vida:

$$15.000 \text{ €} / 10 \text{ años} = 1.500 \text{ €/año}$$

El coste anual por Km recorrido, incluyendo el coste del vehículo, sería de:

$$(1.500 \text{ €} + 3.600 \text{ €}) / 20.000 \text{ km} = 25,9 \text{ c€/Km}$$

Es decir, el Coste de un coche gasolina por Km recorrido (incluyendo amortización del precio del coche), es de 25,9 c€/Km.

4.3.2 Costes de un vehículo de gasoil

El precio de un utilitario de gasoil es de 17.000 €

El coste de las revisiones para un automóvil de gasoil puede ser:



Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KM	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000	180.000	200.000
neumáticos			300,00 €			300,00 €			300,00 €	
frenos			300,00 €			300,00 €			300 €	
lubricantes	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €
Correas, bujías, cables										
Embrague								300,00 €		
Total	100,00 €	100,00 €	700,00 €	100,00 €	100,00 €	700,00 €	100,00 €	400,00 €	700,00 €	100,00 €
Total 10 años		3.100,00 €								

Tabla 11: Revisiones gasoil

$$\text{Coste anual medio} = \frac{\text{coste total 10 años}}{10 \text{ años}} = 310 \text{ €/año}$$

Coste anual gasoil suponiendo un consumo de 6,5 l cada 100 km se puede calcular como:

$$20.000 \text{ km} \cdot \frac{6,5 \text{ l}}{100 \text{ km}} = 1.300 \text{ l}$$

$$1.300 \text{ l} \cdot 1,4 \text{ €/l} = 1.820 \text{ €}$$

Coste seguro anual: 400 €

Impuesto anual de circulación: 300 €

Sumando los costes anuales anteriores, el **Coste total anual es de 2.830 €**

En el supuesto de los 20.000 Km anuales, el coste por Km recorrido sería de

$$2.830 \text{ €} / 20.000 \text{ Km} = 14,15 \text{ c€/Km}$$

El Coste de un coche gasoil por Km recorrido es de: 14,15 c€/Km

Si incluimos también la amortización del precio del coche (17.000 €) en los 10 años de vida:

$$17.000 \text{ €} / 10 \text{ años} = 1.700 \text{ €/año}$$

El coste anual por Km recorrido, incluyendo el coste del vehículo, sería de:

$$(1.700 \text{ €} + 2.830 \text{ €}) / 20.000 \text{ km} = 22,65 \text{ c€/Km}$$

Es decir, el Coste de un coche gasoil por Km recorrido (incluyendo amortización del precio del coche), es de 22,65 c€/Km.

4.3.3 Para un vehículo eléctrico

El precio de un utilitario eléctrico con baterías de 10 KWh es de 23.000 € [REF. 18] (incluyendo el precio las baterías).

El coste de las revisiones para un automóvil eléctrico es:

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KM	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000	180.000	200.000
neumáticos			300,00 €			300,00 €			300,00 €	
frenos						300,00 €				
lubricantes	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €
Correas, bujías, cables										
Embrague										
Total	100,00 €	100,00 €	400,00 €	100,00 €	100,00 €	700,00 €	100,00 €	100,00 €	400,00 €	100,00 €
Total 10 años		2.200,00 €								

Tabla 12: Revisiones eléctrico

$$\text{Coste anual medio de revisiones} = \frac{\text{coste total 10 años}}{10 \text{ años}} = 220 \text{ €/año}$$

Coste anual de energía eléctrica suponiendo un consumo de 15 KWh cada 100 km y el coste por Kwh de 1,249 c€ se puede calcular como:

$$20.000 \text{ km} \cdot \frac{15 \text{ Kwh}}{100 \text{ km}} = 3.000 \text{ kwh}$$

$$3.000 \text{ kwh} \cdot 0.1249 \text{ €/kwh} = 374,7 \text{ €/año}$$

Coste seguro anual: 400 €

Impuesto anual de circulación: 300 €

Sumando los costes anuales anteriores, el **Coste total anual es de 1.294 €**

En el supuesto de los 20.000 Km anuales, el coste por Km recorrido sería de

$$1.294 \text{ €} / 20.000 \text{ Km} = 6,47 \text{ c€/Km}$$

El Coste de un coche eléctrico por Km recorrido es de 6,47 c€/km

Si incluimos también la amortización del precio del coche (23.000 €) en los 10 años de vida:

$$23.000 \text{ €} / 10 \text{ años} = 2.300 \text{ €/año}$$

El coste anual por Km recorrido, incluyendo el coste del vehículo, sería de:

$$(2.300 \text{ €} + 1.294 \text{ €}) / 20.000 \text{ km} = 17,97 \text{ c€/Km}$$

Es decir, el Coste de un coche eléctrico por Km recorrido (incluyendo amortización del precio del coche), es de 17,97 c€/Km

En el caso de que las baterías fueran alquiladas, el precio del coche sería de unos 17.000 € y el alquiler anual de las baterías supondría un desembolso de 1.000 €, por tanto:

El Coste total anual es de 2.290 €

El Coste de un coche eléctrico (baterías alquiladas) por Km recorrido es de 11,45 c€/Km

$$2.290 \text{ €} / 20.000 \text{ Km} = 11,45 \text{ c€/Km}$$

Si incluimos el precio inicial del coche (baterías alquiladas), el Coste de un coche eléctrico por Km recorrido es de 19,95 c€/km

$$17.000 \text{ €} / 10\text{años} = 1.700 \text{ €/año}$$

$$(1.700 \text{ €} + 2.290 \text{ €}) / 20.000\text{km} = 19,95 \text{ c€/Km}$$

4.3.4 Comparación de costes

En la Tabla 13 se muestra el coste de los diferentes vehículos dependiendo del tipo de motor.

	Gasolina	Gasoil	Eléctrico Batería en propiedad	Eléctrico Batería alquilada
Coste sin tener en cuenta el precio inicial.	18,40 c€/Km	14,15 c€/Km	6,47 c€/Km	11,45 c€/Km
Coste teniendo en cuenta el precio inicial	25,90 c€/Km	22,65 c€/Km	17,97 c€/Km	19,95 c€/Km

Tabla 13: Costes según tecnología

Tras comprobar los costes por km de cada motor vemos que el coste de los eléctricos resulta muy por debajo que la gasolina y el diésel. Esto se debe al precio del kwh para recargar las baterías.

El coste por km de un coche eléctrico es un 57% y un 60% más bajos respectivamente que en un diésel y un gasolina.

Si incluimos el precio del vehículo en los costes por Km, vemos que aumenta más en el caso del eléctrico que en las otras motorizaciones, pero aun así el precio por Km es más bajo en el eléctrico. Es un 20% y un 31% más bajo respectivamente que un diésel y un gasolina.

4.3.5 Cálculo de Valor Actual Neto (VAN)

Tras conocer el coste por Km de cada motorización calcularemos el VAN (valor actual neto) para saber cuántos kilómetros deberemos realizar para que la compra de un vehículo eléctrico sea más rentable que la de un gasolina o diésel.

$$VAN = Inversión\ inicial + \sum_0^{años} \frac{costes}{(1-interes)^{años}}$$

4.3.5.1 VAN de un automóvil gasolina

[illegible]

Tabla 14: VAN gasolina

4.3.5.2 VAN de un coche gasoil.

Km	inicio	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000	180.000	200.000
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
coste inicial	17.000 €										
gasolina		1.807 €	1.807 €	1.807 €	1.807 €	1.807 €	1.807 €	1.807 €	1.807 €	1.807 €	1.807 €
revisiones		100 €	100 €	700 €	100 €	100 €	700 €	100 €	400 €	700 €	100 €
seguro e impuestos		700 €	700 €	700 €	700 €	700 €	700 €	700 €	700 €	700 €	700 €
suma gastos		2.607 €	2.607 €	3.207 €	2.607 €	2.607 €	3.207 €	2.607 €	2.907 €	3.207 €	2.607 €
tasa interes	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249
VAN	17000	19.607 €	22.089 €	25.067,75 €	27.367,15 €	29.672,48 €	32.439,49 €	34.634,17 €	37.021,94 €	39.592,13 €	41.630,70 €
	VAN 5años=	29.672,48 €									
	VAN 10años=	41.630,70 €									

Tabla 15: VAN gasoil



4.3.5.3 VAN coche eléctrico con baterías en propiedad.

Km	inicio	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000	180.000	200.000
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
coste inicial	23.000,00 €										
electricidad		372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €
revisiones		100,00 €	100,00 €	400,00 €	100,00 €	100,00 €	700,00 €	100,00 €	100,00 €	400,00 €	100,00 €
seguro e impuestos		700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €
suma gastos		1.172,00 €	1.172,00 €	1.472,00 €	1.172,00 €	1.172,00 €	1.772,00 €	1.172,00 €	1.172,00 €	1.472,00 €	1.172,00 €
tasa interes	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249
VAN	23.000,00 €	24.172 €	25.288 €	26.655,04 €	27.688,76 €	28.725,14 €	30.254,02 €	31.240,66 €	32.203,33 €	33.383,04 €	34.299,49 €
	VAN 5años=	28.725,14 €									
	VAN 10años=	34.299,49 €									

Tabla 16: VAN eléctrico

4.3.5.4 VAN coche eléctrico con baterías alquiladas.

KM	inicio	20000 km	40.000 km	60.000 km	80.000 km	100.000 km	120.000 km	140.000km	160.000 km	180.000 km	200.000 km
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
coste inicial	17.000,00 €										
alquiler bateria		1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €
electricidad		372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €	372,00 €
revisiones		100,00 €	100,00 €	400,00 €	100,00 €	100,00 €	700,00 €	100,00 €	100,00 €	400,00 €	100,00 €
seguro e impuestos		700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €
suma gastos		2.172,00 €	2.172,00 €	2.472,00 €	2.172,00 €	2.172,00 €	2.772,00 €	2.172,00 €	2.172,00 €	2.472,00 €	2.172,00 €
tasa interes	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249
VAN	17.000,00 €	19.172 €	21.240 €	23.535,91 €	25.451,64 €	27.372,31 €	29.763,99 €	31.592,47 €	33.376,52 €	35.357,66 €	37.056,08 €
	VAN 5años=	27.372,31 €									
	VAN 10año=	37.056,08 €									

Tabla 17: VAN eléctrico alquiler de baterías

4.3.6 Resumen de VAN según el tipo de motor

Si comparamos los valores de la Tabla 14 con los de la Tabla 15, podemos observar que un coche diésel respecto de un gasolina sale más rentable a partir de los 80.000 Km. Del mismo modo, si comparamos los valores de la Tabla 14 con los de la Tabla 16, observamos que el coche eléctrico prácticamente también empieza a salir más rentable que un gasolina a los 80.000 km.

Comparando los valores de la Tabla 17 con los de la Tabla 15 y los de la Tabla 14, observamos que, en el caso de un eléctrico con baterías alquiladas, sale más rentable la compra respecto de un diésel desde los primeros 20.000 km y respecto de un gasolina a partir de los 40.000 km.

Entre la compra de un eléctrico con batería en propiedad o alquiladas, comparando los valores de la Tabla 16 con los de la Tabla 17, se observa que comprar las baterías sería rentable a partir de los 140.000 km y 7 años de uso. Después de 200.000 km recorridos vemos que



ahorraríamos menos de 3.000 € al comprar el coche eléctrico con las baterías. No es un ahorro excesivo teniendo en cuenta la inversión inicial.

ESTUDIO Y MODELADO DE LOS ESCENARIOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA PARA ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE UN PARQUE AUTOMOVILÍSTICO ELÉCTRICO

Tras haber analizado las emisiones del mix actual y del parque automovilístico, de conocer las previsiones sobre el futuro del parque automovilístico, de los nuevos vehículos y los costes para el usuario de cada tipo de motor, ahora debemos realizar una revisión de las tecnologías actuales de generación desde el punto de vista de la sostenibilidad.

4.4 REVISIÓN TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ACTUALES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA SOSTENIBILIDAD.

El sistema de generación español es un sistema peculiar ya que uno de los pilares de la producción eléctrica se basa en energías renovables. Concretamente, la eólica representa el 21,1% de la energía anual producida en España y la energía hidráulica representa el 14,4% anual.

Aunque estos datos demuestran la buena integración de las renovables y fomentan la independencia energética, observamos que en los meses de verano la generación mediante energía eólica baja drásticamente.

En la Ilustración 7 se muestra la generación eólica característica durante el verano. A las doce de la noche, que es punto de máxima generación, se produce un pico de 4.810 MWh que representa el 19% de la generación eléctrica a esa hora. A las 13 h, que es cuando se produce el pico de la demanda diaria en España (32.000 MWh) la generación eólica baja hasta los 1.140 MWh, por lo que la eólica solo representa el 3,5% de la producción energética a esa hora.

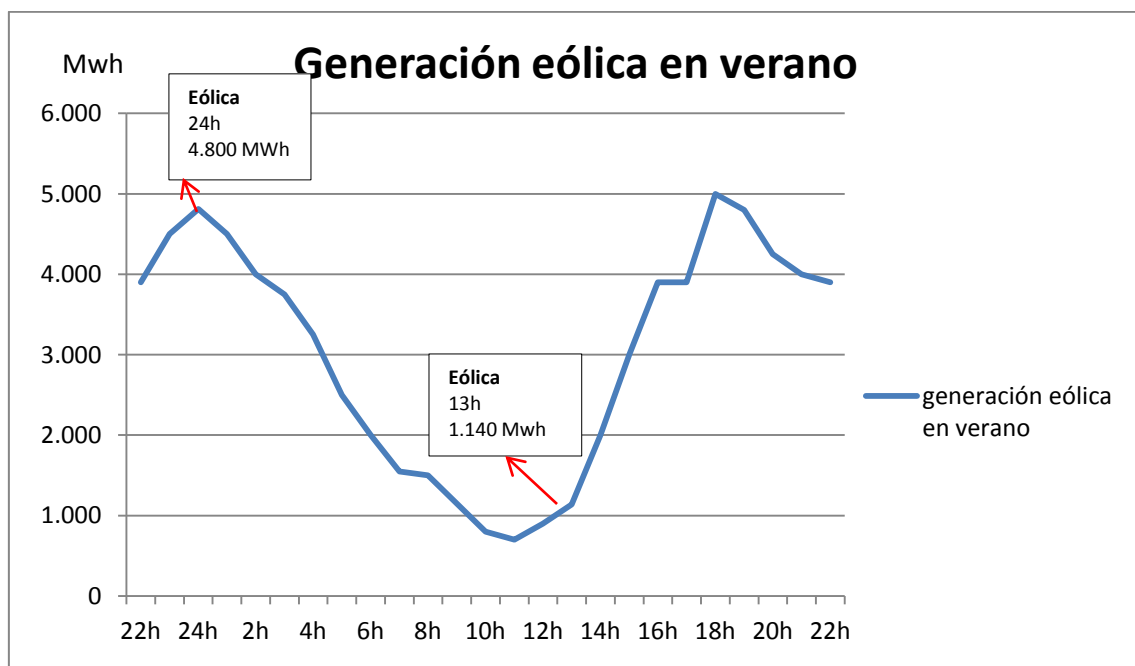


Ilustración 7: Eólica curva característica en verano

Por esta falta de producción eólica es necesario aumentar la producción de energía por parte de las centrales térmicas de carbón y de las de ciclo combinado que aumentan en un 87% y un 72% respectivamente durante las horas de máxima demanda.

Estas dos últimas tecnologías hacen que la dependencia energética de España aumente.

4.5 INDEPENDENCIA ENERGÉTICA

En cuanto a generación energética en España, el peso de la energía renovable en el consumo final bruto de energía, superó el 20% en 2013. Esto propició que España redujera su dependencia energética hasta el 71%, la menor cifra de los últimos 17 años. Este dato es bueno pero se encuentra todavía por encima de la media europea que se sitúa en el 54%.

En el caso de los transportes, es este sector el mayor consumidor de energía en España suponiendo en su conjunto el 39% del consumo de energía final.

Semejante dependencia al que se enfrenta el sector crea efectos negativos en la economía debido a las alzas en los costes del petróleo, ya que España importa el 100% del crudo para abastecer al parque móvil.

En el futuro, gracias al coche eléctrico se podrá disminuir la dependencia energética, ya que por cada coche eléctrico ahorraremos anualmente 1.300 l de gasoil o 1.700 l de gasolina.

4.6 NUEVAS TECNOLOGÍAS

4.6.1 Energía eólica marina

Las instalaciones eólicas marinas tienen ventajas frente a la eólica terrestre, siendo una de ellas que la potencia unitaria de los aerogeneradores en el mar es superior debido a que son máquinas más grandes y utilizan geometrías de pala más eficaces. Suelen tener una potencia de 4 MW.

La profundidad media de los parques eólicos marinos existentes es inferior a los 20 m. La profundidad es uno de los parámetros que más influyen en los costes de construcción.

Las principales desventajas respecto a las terrestres son: inexistencia de infraestructuras eléctricas; condiciones ambientales más severas, mayores inversiones y gastos de explotación debido a que se necesitan tecnologías específicas para la construcción y cimentaciones, transporte y montaje en alta mar, redes eléctricas submarinas y mantenimiento.

4.6.2 Captura de CO₂

Consiste en inyectar el CO₂ de las centrales térmicas en formaciones geográficas para evitar que llegue a la atmósfera. Se podrán reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera en aproximadamente 80-90%.

El problema es que la compresión de CO₂ requiere mucha energía y aumentaría las necesidades de combustible de una central, lo que haría que el precio del KWh aumentara.

4.6.3 Postcombustión

Debido a que las emisiones de las centrales eléctricas constan de menos del 20% de CO₂, antes de enterrarlo bajo tierra, debe ser capturado. A esta acción se la denomina “captura postcombustión”.

Consiste en poner en contacto con un gas ácido una solución acuosa de 2-aminoetanol, formando una sal a temperatura ambiente. La solución es transportada entonces a un ambiente cerrado donde se calienta a unos 120 °C y se libera el CO₂ (puro) y se regenera la solución acuosa de 2-aminoetanol.

4.7 ESCENARIOS DE GENERACIÓN FUTUROS

4.7.1 Objetivos

Este proyecto aborda el análisis de distintos escenarios a los que podría llegar España al implantar el coche eléctrico como alternativa al motor convencional.

Calcularemos las emisiones de CO₂, HC's y materia particulada mediante el software Greet Lca de los distintos mapas.

Tras ello, compararemos los resultados y comentaremos la repercusión sobre el medio ambiente, salud y economía.

El vehículo eléctrico tiene una serie de ventajas e inconvenientes técnicos respecto al motor de combustión, pero en el caso de que se consiguiera implantar con éxito ¿sería suficiente la energía producida por el sistema español? Y en el caso de que fuese suficiente, ¿esta demanda extra haría que fuésemos más dependientes energéticamente?

4.7.2 Escenario 1: Mapa de generación actual

Es un escenario a corto plazo en el que el coche eléctrico comienza a tenerse en cuenta como medio de transporte por las ciudades.

Consideramos que para llevar a cabo la recarga de dicho parque automovilístico eléctrico utilizamos únicamente las centrales de generación disponible en ese momento y no vamos a considerar un aumento en la demanda energética. Es decir, mantenemos el **mapa de generación actual** de energía.

4.7.2.1 Escenario1 Caso 1: Mapa de generación actual y 2,5 millones de V.E.

Para este caso supondremos que se han cumplido las previsiones de la U.E. y hay 2,5 millones de vehículos eléctricos (V.E.) en España.

$$2,5 \text{ M} \cdot 3,68 \text{ KWh} = 9,2 \text{ GWh}$$

$$9,2 \text{ GWh} \cdot 3,125 \text{ h} = 28,75 \text{ GWh}$$

Para llevar a cabo la recarga de las baterías necesitaremos 28,75 GWh de energía extra. Dado que en las horas valle se produce una caída de la demanda desde las 23 h. hasta las 10 h del

día siguiente (según se muestra en la Ilustración 5 e Ilustración 6), supondremos que la recarga se hará en 6 horas. Por tanto, necesitaremos una media de 4,79 GWh durante esas 6 h.

La energía consumida total anual pasaría de 260.160 GWh a 270.566 GWh, lo que supone un aumento del 4%.

La potencia instalada permanecerá sin variaciones.

La energía consumida será de 270.566 GWh anuales, de 741,27 GWh diarios y una media horaria de 31 GWh

En los apartados siguientes se justifican los datos anteriores.

4.7.2.1.1 Definición de modelos

Supondremos que los 28,75 GWh de energía extra para llevar a cabo la recarga del parque automovilístico será satisfecha mediante Ciclo combinado y Carbón durante las horas valle de la madrugada.

El resto de tecnologías mantendrán sin variación su aportación a la red eléctrica.

La demanda diaria media aumentará a:

$$\text{Carbón:} \dots \frac{28.750 \text{ MWh}}{24h} \cdot 0,5 + 4.542 \text{ MWh} = 5.117 \text{ MWh}$$

$$\text{CC:} \dots \frac{28.750 \text{ MWh}}{24h} \cdot 0,5 + 2.900 \text{ MWh} = 3.475 \text{ MWh}$$

Eólica: 6.155 MWh

Solar: 1.422 MWh

Nuclear: 6.436 MWh

Térmica renovable: 572 MWh

Cogeneración: 3.653 MWh

Hidráulica: 3.900 MWh

Hace una media horaria total de 31 GWh

	Potencia instalada	Energía media horaria	% Uso Diario	
Nuclear	7.866 (MW)	6.436 MWh	82,0%	
Eólica	22.746 (MW)	6155 MWh	27,0%	
Hidráulica	19.822 (MW)	3.900 MWh	20,0%	
Solar	6.738 (MW)	1.422 MWh	20,0%	
Carbón	11.131 (MW)	5.117 MWh	45,9%	▲
Ciclo Combinado	25.350 (MW)	3.475 MWh	13,7%	▲
Térmica renovable	979 (MW)	572 MWh	58,0%	
Cogeneración	7.127 (MW)	3.653 MWh	51,0%	

Tabla 18: Potencia, energía y uso en .Escenario1-Caso1

4.7.2.1.2 Nueva curva de demanda en verano teniendo en cuenta las recargas.

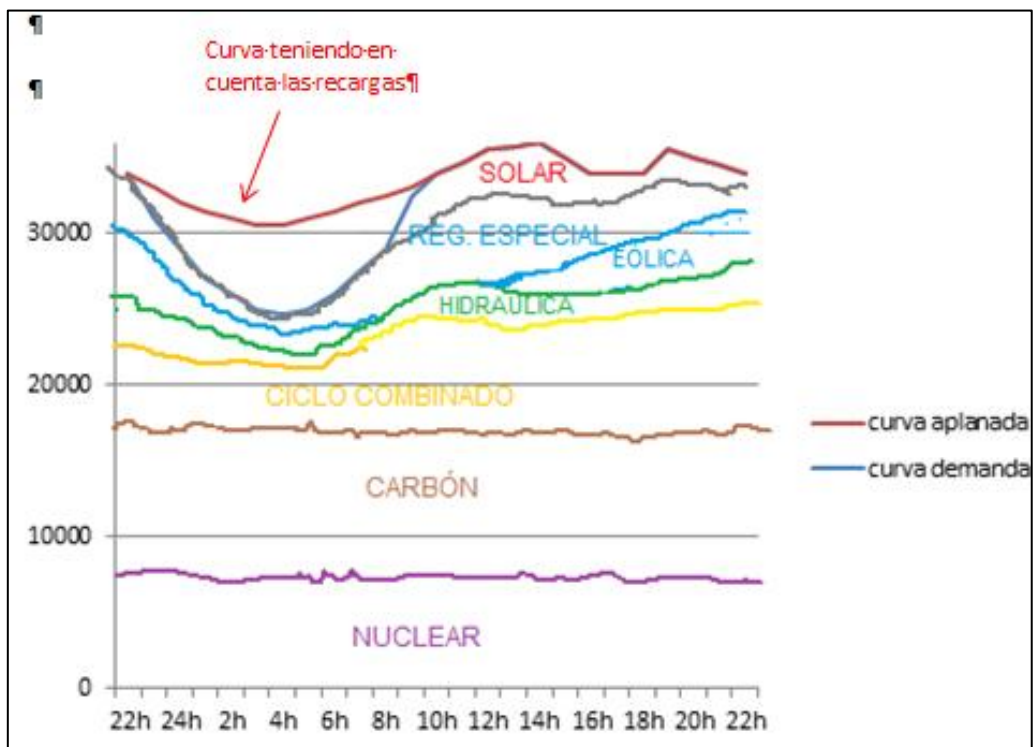


Ilustración 8: Curva demanda con recargas del Escenario1-Caso 1

4.7.2.1.3 Limitaciones del Escenario 1-Caso 1

En el caso 1 hemos supuesto que vamos a recargar las baterías usando ciclo combinado y carbón en la misma proporción.

Tomamos la curva característica de demanda del verano ya que una de las fuentes principales de generación que es la eólica no produce apenas energía en las horas valle y se compensa dicha merma usando CC y Carbón sobre todo.

Entre las 3 h y las 5 h es donde mayor energía se va a aportar al parque para sus recargas ya que es donde se produce la mayor caída de la demanda (ver Ilustración 8). Por eso, es en esas horas “más críticas” cuando hay que comprobar si hay suficiente potencia instalada de carbón y de ciclo combinado para hacer frente a la demanda y a las recargas.

Entre dichas horas se necesitarán unos 6.000 MWh para las recargas, generados en un porcentaje 50/50 por ciclo combinado y carbón. En total teniendo en cuenta la demanda de esas horas más las recargas tendremos, de CC una demanda total de 6.200 MWh aproximadamente y de carbón unos 12.000 MWh. Estos datos los deducimos de la Ilustración 8.

Vemos que la demanda necesaria de carbón sobrepasa la potencia instalada por lo que habrá que generar más energía con C.C. en estas horas de recarga máxima y pasadas esas horas volver a un porcentaje 50/50.

4.7.2.1.4 Simulación en GREET

Tras aumentar la generación en las centrales de Ciclo combinado y Carbón para hacer frente a la nueva demanda, el mix energético cambiará, por lo que tendremos que analizar con Greet este nuevo mapa y calcular sus emisiones.

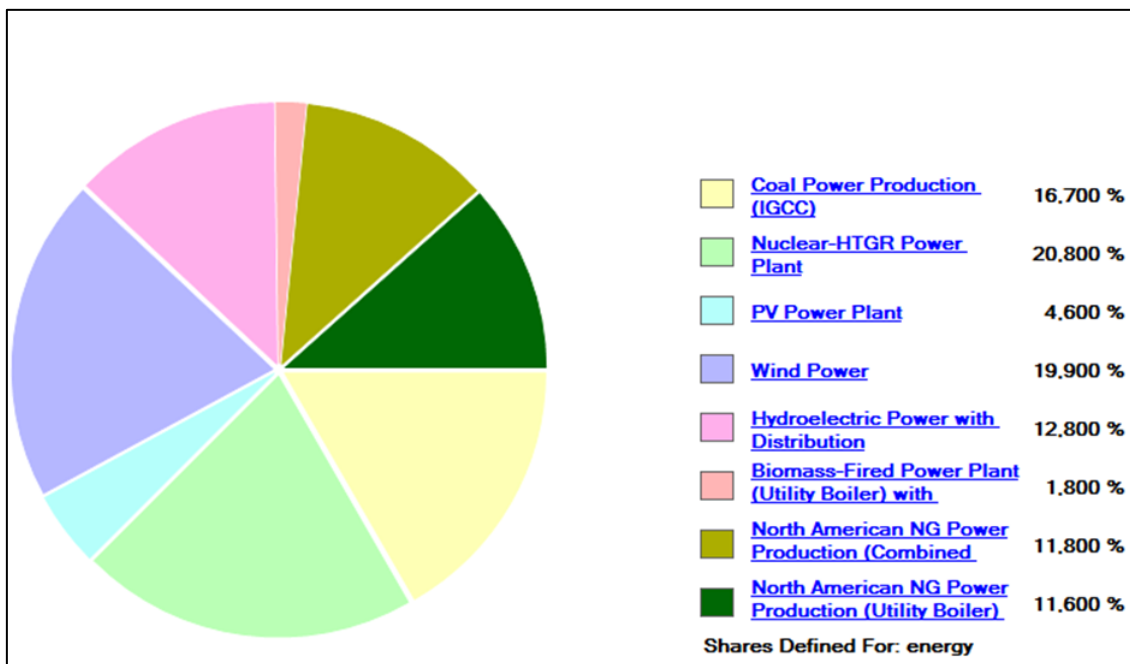


Ilustración 9: Mix energético Escenario1-Caso 1

Las emisiones de este nuevo mapa serán de:

Per	1000 Wh
Emissions	
Life Cycle	
Emissions	
VOC	30,688 mg
CO	163,179 mg
NOx	276,158 mg
PM10	280,385 mg
PM2.5	95,994 mg
SOx	54,871 mg
CH4	1,268 g
N2O	10,201 mg
CO2	304,397 g
CO2Biogenic	-34,557 g
Groups	
Greenhouse Gas	304,592 g

Tabla 19: Emisiones mix Escenario1-Caso 1

El **mix energético peninsular** de este caso, tras modelarlo en GREET, genera 304,397 gCO₂/KWh. Si descontamos el CO₂ biogénico, el mix queda en **270 gCO₂/KWh**.

Las emisiones de efecto invernadero se sitúan en 304,59 g/KWh. Al año, teniendo en cuenta la demanda eléctrica, será un total de **82,2 millones de toneladas de gas efecto invernadero**.

El mix del escenario 1- caso 1 genera al año 82,2 millones de toneladas de gas efecto invernadero

Como ya vimos en el apartado 3.1, para estudiar la emisión de contaminantes de un vehículo habrá que tener en consideración, tanto las emisiones del vehículo en su operación, como otras emisiones indirectas. Las emisiones indirectas en este caso son las que se producen para generar la electricidad.

Resultados por Km	Operación del vehículo	Total
Energía total	177,8 Wh/Km	319Wh/Km
Emisiones		
VOC	0mg/km	5,45 mg/km
CO	0mg/km	29,01 mg/km
NOx	0mg/km	49,10mg/km
PM10	0mg/km	49,86 mg/km
PM2.5	0mg/km	17,07 g/km
SOx	0mg/km	9,75 mg/km
CH4	0mg/km	225,57 mg/km
CO2	0mg/km	54,13 g/km
N2O	0mg/km	1,81 g/km
CO2 biogénico	0mg/km	´-6,145 g/km
Gas efecto invernadero	0mg/km	54,166 g/km
Urbano		
VOC	0mg/km	376,72 ug/km
CO	0mg/km	4,92 mg/km
NOx	0mg/km	10,24 mg/km
PM10	0mg/km	505,39 ug/km
PM2.5	0mg/km	440,58 ug/km
SOx	0mg/km	786,468 ug/km
CH4	0mg/km	2,127 mg/km
CO2	0mg/km	14,10 g/km
N2O	0mg/km	204,239 ug/km
CO2 biogénico	´-0 g/km	´-0g/km

Tabla 20: Emisiones coche eléctrico con mix del Escenario1-Caso 1

Como era de esperar y según se muestra en la Tabla 20, las emisiones generadas únicamente por el uso del vehículo son cero, pero teniendo en cuenta las emisiones indirectas vemos que

tiene un impacto en el ambiente de 54 g de CO₂/Km, 225,57 mg de CH₄/km y de 49,1 mg de NO_x/Km.

Así pues, un vehículo eléctrico contribuye en **54,16 g/Km en gas de efecto invernadero**.

Si analizamos las emisiones en la ciudad del coche eléctrico vemos que los valores son: 505 µg de PM₁₀/km, 440 µg de PM_{2,5}/Km, 786 µg de SO_x/Km y 10,2 mg de NO_x/Km.

Claramente, observando los datos sobre emisiones, vemos que el vehículo eléctrico emite muchas menos emisiones y este hecho es muy importante en las ciudades.

4.7.2.1.5 Discusión bajo el punto de vista ambiental

Hemos supuesto que 2,5 millones de vehículos de combustión son sustituidos por eléctricos. Por lo que tendremos un parque de 8,85 millones de coches de gasolina, de 10,65 millones de coches de gasoil y 2,5 millones de eléctricos.

- Un parque de 2,5 millones de coches eléctricos contribuye en $2,7 \cdot 10^6$ toneladas de gas efecto invernadero /año.
- Un parque de 8,85 millones de coches gasolina contribuye en $43 \cdot 10^6$ toneladas de gas efecto invernadero /año.
- Un parque de 10,65 millones de coches gasoil contribuye en $40,6 \cdot 10^6$ toneladas de gas efecto invernadero /año.

En total dicho parque emite **$86,3 \cdot 10^6$ toneladas de gas efecto invernadero/año que es un 8,4% menos de emisiones de gas efecto invernadero que el parque de 2013.**

4.7.2.1.6 Discusión bajo el punto de vista de la independencia energética

Ya vimos que un automóvil recorre como media unos 20.000 Km al año y gasta unos 1.300 litros de gasoil o 1.700 l de gasolina o 3.000 KWh en el caso de un coche eléctrico.

El parque actual con 12 millones de coches diésel y 10 millones de gasolina, tiene un consumo anual de 15.600 millones de litros de gasoil y 17.000 millones de litros de gasolina.

En este caso 1, gracias al coche eléctrico ahorraremos en gasolina un 11,5%, cerca de 2.000 millones de litros y en gasoil un 11,25%, cerca de 1.750 millones de litros, pero tendremos que producir 28,75 GWh más al día para la recarga de las baterías, lo que supondría un aumento anual en la importación de gas y carbón. En concreto, 2.127 millones de m³ de gas al año y 1,44 millones de toneladas de carbón al año.

4.7.2.2 Escenario 1-Caso 2: Mapa de generación actual y 10,8 millones de V.E.

Vamos a analizar el caso en el que con el actual mapa de generación se cargaran las baterías de 10,8 millones de coches.

$$10,8 M \cdot 3,68 KWh = 39,74 GWh$$

$$39,74 GWh \cdot 3,125 h = 124,2 GWh$$

Para llevar a cabo la recarga de las baterías necesitaremos 124,2 GWh de energía extra. Dado que en las horas valle se produce una caída de la demanda desde las 23 h. hasta las 10 h del día siguiente (según se muestra en la Ilustración 5 e Ilustración 6), supondremos que la recarga se hará en 6 horas. Por tanto, necesitaremos una media de 20,7 GWh durante esas 6 h.

La recarga supone un aumento del 17,42% sobre la demanda diaria media, que pasaría de 712,72 GWh al día a 836,96 GWh y de 260.160 GWh al año a 305.493 GWh.

La potencia instalada permanecerá sin variaciones

La energía consumida al año pasará de 260.000 GWh a 305.493 GWh, a 836 GWh diarios y una media horaria de 34,8 GWh

En los apartados siguientes se justifican los datos anteriores.

Como ya vimos en la Ilustración 5 e Ilustración 6, se producía una caída en la demanda durante las horas valle de unos 75,5 GWh, por lo que deberíamos aumentar la producción energética de las centrales existentes o instalar más potencia.

4.7.2.2.1 Definición de modelos

Supondremos que los 124,2 GWh de energía extra para la recarga de las baterías serán satisfechos mediante ciclo combinado, carbón, energía eólica e hidráulica en la proporción 70%, 20%, 5% y 5% respectivamente.

El resto de tecnologías mantendrán sin variación su aportación a la red de energía eléctrica.

La demanda diaria media aumentará a:

$$CC: \frac{124.200 MWh}{24h} \cdot 0,7 + 2.900,5 MWh = 6.633,83 MWh$$

$$\text{Carbón: } \frac{124.200 MWh}{24h} \cdot 0,2 + 4.542 MWh = 5.608 MWh$$

$$\text{Eólica: } \frac{124.200 MWh}{24h} \cdot 0,05 + 6.155 MWh = 6.421,66 MWh$$



Hidráulica: $\frac{124.200 \text{ MWh}}{24h} \cdot 0,05 + 3.900 \text{ MWh} = 4.166,66 \text{ MWh}$

Solar: 1.422 MWh

Nuclear: 6.435,8 MWh

Térmica renovable: 572 MWh

Cogeneración: 3.653 MWh

Hace una media horaria total de 34,8 GWh

	Potencia instalada	Energía media horaria	% Uso Diario	
Nuclear	7.866 (MW)	6.435,80 MWh	82,00%	
Eólica	22.746 (MW)	6.954,66 MWh	28,20%	▲
Hidráulica	19.822 (MW)	4.166,66 MWh	21,02%	▲
Solar	16.738 (MW)	1.422,00 MWh	20,00%	
Carbón	11.131 (MW)	5.117,00 MWh	45,90%	▲
Ciclo Combinado	25.350 (MW)	6.633,83 MWh	26,50%	▲
Térmica renovable	979 (MW)	572,00 MWh	58,00%	
Cogeneración	7.127(MW)	3.653,00 MWh	51,00%	

Tabla 21 Potencia, energía y uso en .Escenario1-Caso2

4.7.2.2.2 Nueva curva de demanda en verano teniendo en cuenta las recargas.

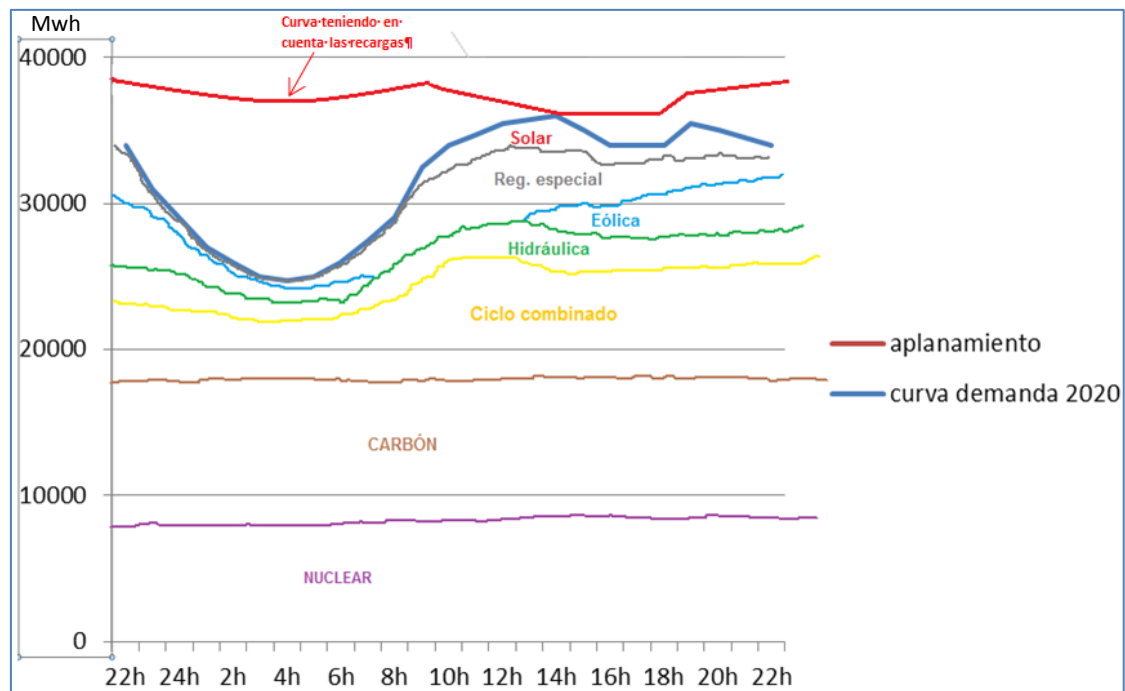


Ilustración 10: Curva demanda con recargas del Escenario1-caso 2

4.7.2.2.3 Limitaciones del Escenario 1-Caso 2

En el caso 2 hemos supuesto que vamos a recargar las baterías usando ciclo combinado, carbón, hidráulica y eólica en proporción 70%, 20%, 5% y 5% respectivamente.

Tomamos la curva característica de demanda del verano ya que la energía eólica reduce su aportación al mix energético en este periodo.

Como vamos a recargar no solo durante las horas valle sino también en el resto del periodo diario, ya que las recargas suponen mucha energía adicional, supondremos que podremos usar energía eólica porque fuera de las horas valle aporta más energía.

Entre las 3 y las 5 debido a la caída de la demanda es donde mayor energía va a ser destinada a cargar las baterías, pero existe la limitación de la poca energía eólica producida, por lo que a esas horas tendremos que utilizar mayormente Ciclo Combinado y carbón para hacer frente a la demanda y a las recargas.

Entre dichas horas se necesitarán unos 13.000 MWh para las recargas, generados en el porcentaje mencionado.

En total teniendo en cuenta la demanda de esas horas más las recargas tendremos, de CC una demanda total de 11.600 MWh aproximadamente y de carbón unos 12.000 MWh, de eólica 650 MWh y de hidráulica unos 1.600 MWh. Estos datos los deducimos de la Ilustración 10.

Vemos que la demanda necesaria de carbón sobrepasa la potencia instalada, por lo que habrá que generar más energía con C.C. También debemos prestar atención a la eólica ya que a estas horas la generación eólica es muy baja y con las recargas demandaremos 650 MWh extras. En el caso de que sea imposible generar la energía suficiente para cargar las baterías, podremos satisfacer dicha “merma” mediante Ciclo combinado que hay potencia suficiente. Pasadas esas horas sería posible volver a un porcentaje 70/20/5/5.

4.7.2.2.4 Simulación en GREET

Tras aumentar la generación en las centrales de Ciclo combinado, Carbón, Eólica e Hidráulica para hacer frente a la nueva demanda, el mix energético cambiará, por lo que tendremos que analizar con Greet este nuevo mapa y calcular sus emisiones.

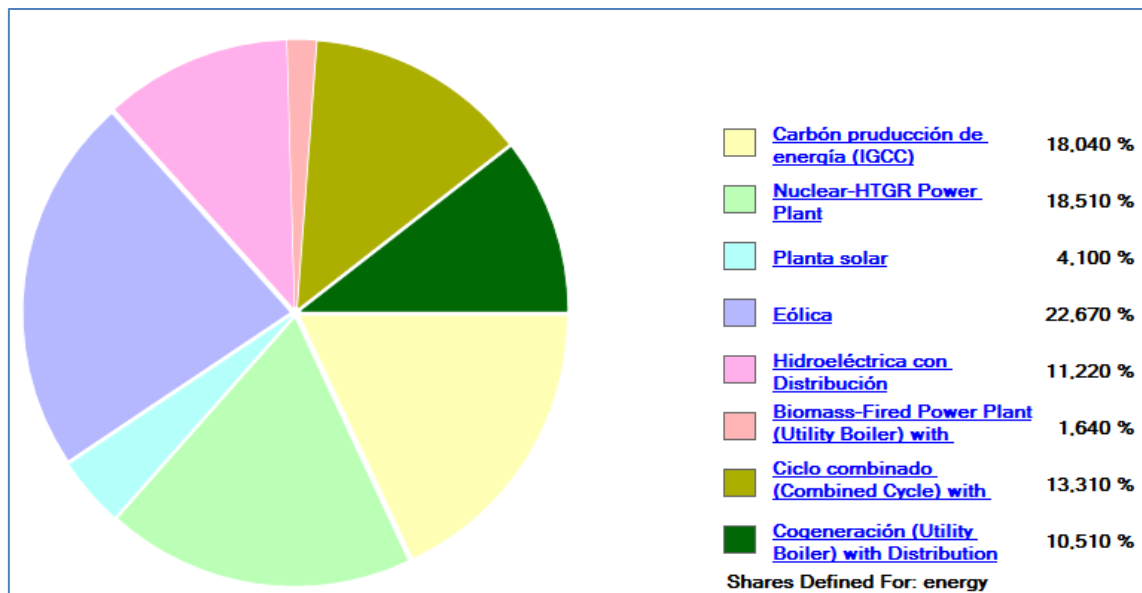


Ilustración 11: Mix energético Escenario1-Caso 2

Las emisiones de este nuevo mapa serán de:

Per	1000 Wh
▲ Emissions	
▲ Life Cycle	---
▲ Emissions	---
VOC	30,893 mg
CO	153,995 mg
NOx	264,550 mg
PM10	295,157 mg
PM2.5	97,592 mg
SOx	55,395 mg
CH4	1,276 g
N2O	10,406 mg
CO2	311,766 g
CO2Biogenic	-31,486 g
▲ Groups	---
Greenhouse Gas	315,287 g

Tabla 22: Emisiones mix Escenario 1-Caso 2

El **mix energético peninsular de 2013** tras modelizarlo en GREET genera 311,7 gCO₂/KWh. Si descontamos el CO₂ biogénico, el mix queda en **280,2 gCO₂/KWh**.

Las emisiones de efecto invernadero se sitúan en 315,28 g/KWh. Al año teniendo en cuenta la demanda eléctrica será un total de **96,23 millones de toneladas de gas efecto invernadero**.

El mix del escenario 1- caso 2 genera al año 96,23 millones de Toneladas de gas efecto invernadero

A continuación veremos las emisiones propias del vehículo así como las totales.

Resultados por Km	Operación del vehículo	Total
Energía total	177,8 Wh/Km	319,3Wh/Km
Emisiones		
VOC	0 g/km	5,49 mg/km
CO	0 g/km	27,38 mg/km
NOx	0 g/km	47,04 mg/km
PM10	0 mg/km	52,48 mg/km
PM2.5	0 mg/km	17,35 mg/km
SOx	0 mg/km	9,85 mg/km
CH4	0 mg/km	226,95 mg/km
CO2	0 g/km	55,44 g/km
N2O	0 g/km	1,81 mg/km
CO2 biogénico	0 g/km	-5,59 g/km
Gas efecto invernadero	0 g/km	56,06 g/km
Urbano		
VOC	0 mg/km	356,10 µg/km
CO	0 mg/km	4,61 µg/km
NOx	0 mg/km	9,61 µg/km
PM10	0 mg/km	482,27 µg/km
PM2.5	0 mg/km	413,09 µg/km
SOx	0 mg/km	786,22 µg/km
CH4	0 mg/km	2,12 mg/km
CO2	0 g/km	14,32 g/km
N2O	0 g/km	218,27 µg/km
CO2 biogénico	-0 g/km	-0 g/km

Tabla 23: Emisiones coche eléctrico con mix del Escenario1-Caso2

Como era de esperar y según se muestra en la Tabla 23, las emisiones generadas únicamente por el uso del vehículo son cero, pero teniendo en cuenta las emisiones indirectas vemos que tiene un impacto en el ambiente de 55,4 g de CO₂/Km, 226,57 mg de CH₄/km y de 47,1mg de NO_x/Km.

Vemos que un vehículo eléctrico contribuye en **56,06 g/Km en gas de efecto invernadero**.

Si analizamos las emisiones en la ciudad del coche eléctrico vemos que los valores son: 482,7 µg de PM₁₀/km, 413 µg de PM_{2,5}/Km, 786 µg de SO_x/Km y 9,618 mg de NO_x/Km.

Claramente observando los datos sobre emisiones vemos que el vehículo eléctrico emite menos emisiones.



4.7.2.2.5 Discusión bajo el punto de vista ambiental

Hemos supuesto que 10 millones de vehículos de combustión son sustituidos por eléctricos.

Por lo que tendremos un parque de 5,52 millones de coches de gasolina, de 6,48 millones de coches de gasoil y 10 millones de eléctricos. En total dicho **parque emitirá $62 \cdot 10^6$ toneladas de gas efecto invernadero/año.**

4.7.2.2.6 Discusión bajo el punto de vista de la independencia energética

Ya vimos que un automóvil recorre como media unos 20.000 Km al año y gasta unos 1.300 litros de gasoil o 1.700 l de gasolina o 3.000 KWh en el caso de un coche eléctrico.

El parque actual consume 15.600 millones de litros de gasoil y 17.000 millones de litros de gasolina.

En este caso 2, gracias al coche eléctrico ahorraremos en gasolina un 44,8%, cerca de 7.616 millones de litros y en gasoil un 44%, cerca de 6.865 millones de litros, pero tendremos que producir 128 GWh más al día para la recarga de las baterías, lo que supondría un aumento en la importación de gas y carbón. En concreto 6.900 millones de m³ de gas y 2,5 millones de toneladas de carbón.

4.7.3 Escenario 2: Plan energías renovables año 2020

El Escenario 2 contempla el Plan de energías renovables aprobado por el gobierno a lo largo del periodo 2010-2020 [REF. 20]. En este Plan, el peso de las energías renovables y el de ciclo combinado van a aumentar, por lo que el nuevo mix energético con el que recargarán las baterías, tomarán en consideración dicho plan.

La potencia instalada para 2020 será de 123.631 MW frente a los 102.281 MW actuales, según el plan de energías renovables del gobierno. Supone un aumento del 7% en potencia instalada respecto 2013.

Según dicho plan, las previsiones en cuanto a potencia renovable instalada son aumentar hasta los 67 GW la potencia instalada de energías renovables. Esto implica la instalación de 23 GW adicionales. En la Ilustración 12 se puede ver la evolución.

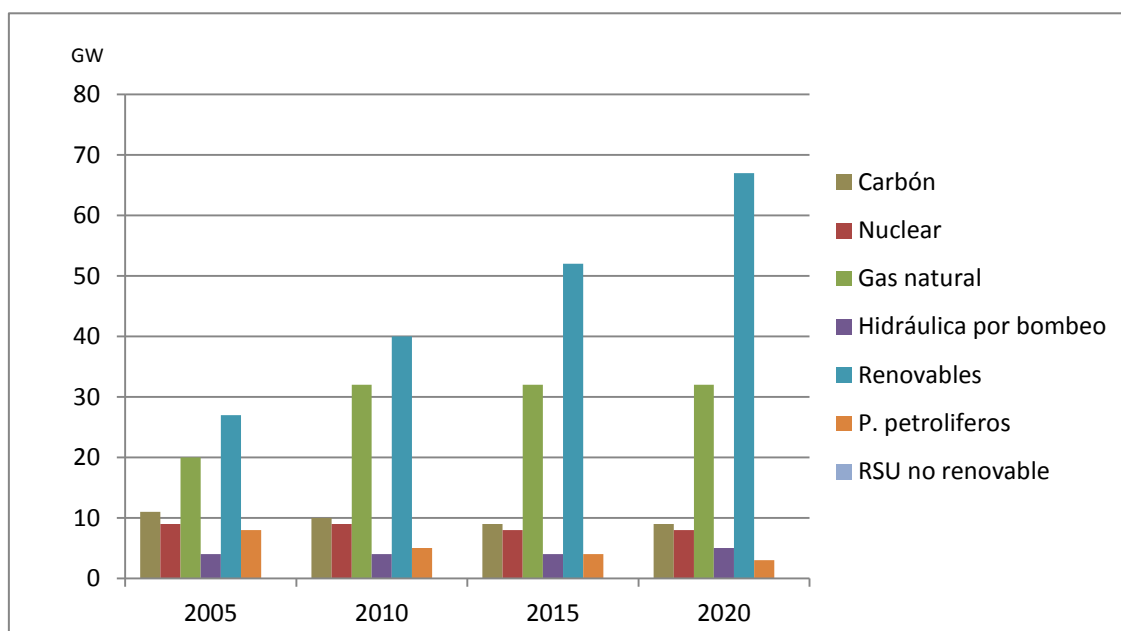


Ilustración 12: Evolución de las tecnologías de generación energética

Dentro del parque renovable al 2020 destaca el parque eólico con 35 GW instalados, el área hidráulica con 22 GW, en tercer lugar la energía solar fotovoltaica con más de 7 GW y por último la energía solar termoeléctrica con 4 GW, al final del periodo.

La energía consumida será de 383.000 GWh anuales frente a los 260.160 GWh anual en 2013, lo que supone un aumento del 32%.

La potencia instalada pasará de 102.281 MW a 123.631 MW

La energía consumida será de 383.000 GWh anuales, de 1.049 GWh diarios y una media horaria de 43.721 MWh

	Potencia instalada	Energía media horaria	% Uso Diario
Nuclear	7.866 (MW)	6.436 MWh	81,8%
Eólica	5.000 (MW)	8.333 MWh	23,0%
Hidráulica	22.100 (MW)	3.900 MWh	17,6%
Solar	12.050 (MW)	3.010 MWh	25,0%
Carbón	11.131 (MW)	5.000 MWh	44,8%
Ciclo Combinado	25.350 (MW)	12.817 MWh	50,5%
Térmica renovable	979 (MW)	572 MWh	58,0%
Cogeneración	7.127 (MW)	3.653 MWh	51%

Tabla 24: Potencia, energía y uso en Escenario 2

- **Energía Nuclear:** La energía nuclear no se plantea instalar más potencia en el futuro por lo que habrá una potencia instalada de 7.866 MW, tiene un porcentaje de uso del 81,8% y genera una media de 6.436 MWh. Representa el 21% de la energía generada.
- **Carbón:** Con 11.131 MW de potencia instalada y un porcentaje de uso diario medio del 44,8%, genera una media de 5.000 MWh. Representa el 11,6% de la energía generada.
- **Ciclo combinado:** Potencia instalada de 25.350 MW, tiene un porcentaje de uso medio diario del 50,5% y genera una media de 12.817 MWh. Representa el 29,3% de la energía generada.
- **Hidráulica:** Tiene una potencia instalada de 22.100 MW, tiene un porcentaje de uso del 17,6% y genera una media de 3.900 MWh. Representa el 8,92% de la energía generada.
- **Eólica:** Hay una potencia instalada de 35.000 MW, tiene un porcentaje de uso medio diario del 23,8% y genera una media de 8.333 MWh. Representa el 19,05% de la energía generada.
- **Solar fotovoltaica:** Hay una potencia instalada de 7.250 MW y genera una media de 1.369 MWh.

- **Solar termoelectrónica:** Hay una potencia instalada de 4.800 MW y genera una media de 1.641 MWh.

La energía solar en conjunto tiene una potencia instalada de 12.050 MW, tiene un porcentaje de uso medio diario del 25% y genera una media de 3.010 MWh. Representa el 6,88% de la energía generada.

- **Térmica renovable:** Hay una potencia instalada de 979 MW, tiene un porcentaje de uso del 58% y genera una media de 511 MWh. Representa el 1.16% de la energía generada.
- **Térmica no renovable (cogeneración):** hay una potencia instalada de 7.127 MW, tiene un porcentaje de uso del 51% y genera una media de 3.653 MWh. Representa el 8,35% de la energía generada.

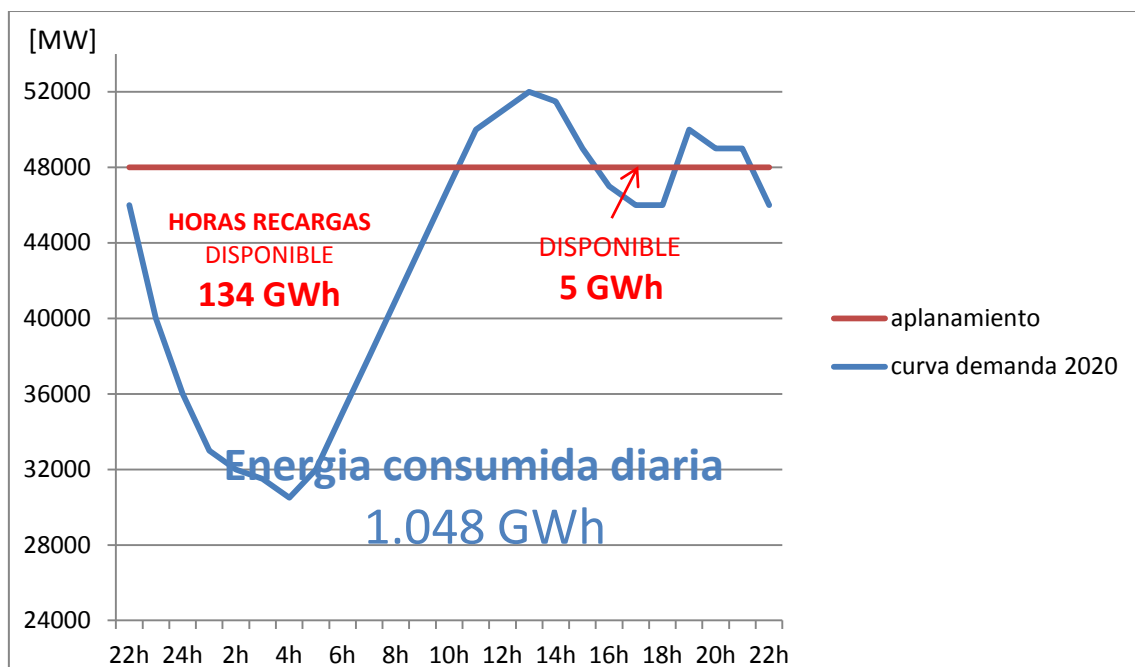


Ilustración 13: Curva demanda en 2020

4.7.3.1 Parque automovilístico 2020

Vamos a suponer que sustituiremos por vehículos eléctricos todos los vehículos utilitarios de cilindrada menor de 1.200 cm³ hasta 1.600 cm³, ya que este tipo de vehículos son idóneos para desplazarse por ciudades, debido a sus dimensiones y motor económico.

Actualmente automóviles menores de 1.200 cm³ hay 2.460.718 y entre 1.200 a 1.600 cm³ hay 8.308.577, lo que hace un total de 10.769.295.

4.7.3.2 Escenario 2-Caso 1: Plan 2020 y 10,8 millones V.E.

En este caso supondremos un total de 10,8 Millones de Vehículos Eléctricos (V.E.) para realizar los cálculos:

$$10,8 M \cdot 3,68 KWh = 39,74 GWh$$
$$39,74 GWh \cdot 3,125 h = 124,2 GWh.$$

Para llevar la recarga redondeamos a 128 GWh de energía extra, dado que en las horas valle se produce una caída de la demanda desde las 23 h. hasta las 10 h. del día siguiente (según se muestra en la Ilustración 13). Supondremos que la recarga se hará en 6 horas. Por tanto necesitaremos una media de 20,7 GWh durante esas 6 h

Necesitamos 128 GWh extras al día

20,7 GWh durante 6h de recarga

45.333 GWh al año

Supondría un aumento del 10,5% sobre la demanda diaria media, que pasaría de 1.049,31 GWh al día a 1.173,51 GWh y de 383.000 GWh al año a 428.333 GWh

La energía consumida será de 428.000 GWh anuales, de 1.172 GWh diarios y una media horaria de 48.858 MWh

4.7.3.2.1 Definición de modelos

Supondremos que los 124,7 GWh de energía extra para la recarga de las baterías serán satisfechos siguiendo las previsiones del plan de energías renovables de 2020 y serán mediante ciclo combinado, carbón y energía eólica durante las horas valle de 22 h a 10 h y energía solar durante las horas valle que se dan entre las 8 h y las 10 h y entre las 15 h a las 17 h.

El resto de tecnologías mantendrán sin variación su aportación a la red de energía eléctrica.

La demanda media horaria aumentará hasta:

$$CC: \frac{124.700 MWh}{24h} \cdot 0,4 + 12.812 MWh = 14.888 MWh$$

$$Carbón: \frac{124.700 MWh}{24h} \cdot 0,25 + 5.000 MWh = 6.294 MWh$$

$$Eólica: \frac{124.700 MWh}{24h} \cdot 0,25 + 8.333 MWh = 9.627 MWh$$

$$Solar: \frac{124.700 MWh}{24h} \cdot 0,1 + 3.010 MWh = 3.527,75 MWh$$

Nuclear: 6.435,8 MWh

Térmica renovable: 572 MWh

Cogeneración: 3.653 MWh

Hidráulica: 3.900 MWh

Hace una media horaria total de 48,897 GWh

Para la recarga de las baterías hemos supuesto que el 40% de la energía necesaria para recargarlas la obtendremos de ciclo combinado, ya que su uso diario medio en la contribución de la generación de energía para el mapa de 2020 era solo del 50%. Otro 25% mediante carbón ya que su uso medio horario era algo bajo, un 44%. Mediante renovables, hemos supuesto que un 25% de la energía necesaria fuera satisfecha mediante eólica y el otro 10% con solar.

Como se observa en la Tabla 25, el uso medio diario del CC y del Carbón es cercano al 60%, el de la eólica del 27,5% y un 29,3% en la solar.

	Potencia instalada	Energía media horaria	% Uso Diario	
Nuclear	7.866(MW)	6.435,8 MWh	81,8%	
Eólica	35.000 (MW)	9.627 MWh	27,5%	▲
Hidráulica	22.100(MW)	3.900 MWh	17,6%	
Solar	12.050(MW)	3.527 MWh	29,3%	▲
Carbón	11.131(MW)	6.294 MWh	56,5%	▲
Ciclo Combinado	25.350(MW)	14.888 MWh	58,7%	▲
Térmica renovable	979(MW)	572 MWh	58%	
Cogeneración	7.127(MW)	3.653 MWh	51%	

Tabla 25: Potencia, energía y uso del Escenario2- Caso 1

4.7.3.2.2 Simulación en GREET

El mix energético teniendo en cuenta las recargas de 10,8 millones de automóviles quedará como:

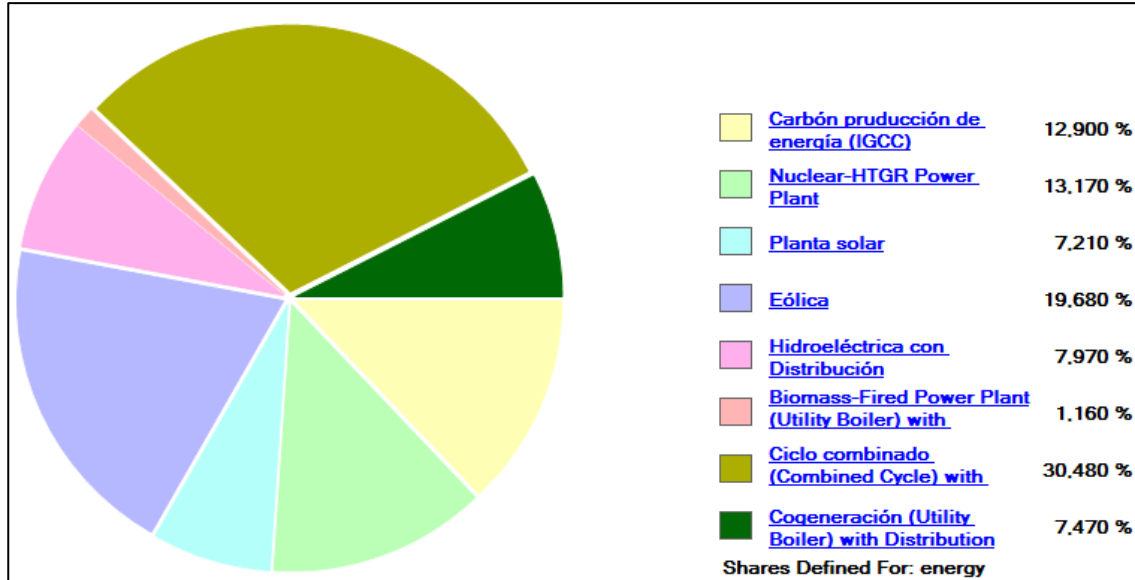


Ilustración 14: Mix energético Escenario 2- Caso 1

Las emisiones de este nuevo mapa serán de:

Per	1000 Wh
Emissions	
Life Cycle	---
Emissions	---
VOC	31,248 mg
CO	127,837 mg
NOx	237,288 mg
PM10	212,262 mg
PM2.5	70,567 mg
SOx	57,918 mg
CH4	1,644 g
N2O	7,739 mg
CO2	321,782 g
CO2Biogenic	-22,276 g
Groups	---
Greenhouse Gas	342,918 g

Tabla 26: Emisiones mix Escenario2-Caso 1

El **mix energético peninsular** de este caso, tras modelizarlo en GREET genera 321,78 gCO₂/KWh. Si descontamos el CO₂ biogénico, el mix queda en **300 gCO₂/KWh**.

Las emisiones de efecto invernadero se sitúan en 342,9 g/KWh. Al año teniendo en cuenta la demanda eléctrica será un total de **146,3 millones de toneladas de gas efecto invernadero**.

El mix del Escenario 2- caso 1 genera al año 146,3 millones de Toneladas de gas efecto invernadero

Como ya vimos en el apartado 3.1, para estudiar la emisión de contaminantes de un vehículo habrá que tener en consideración, tanto las emisiones del vehículo en su operación, como otras emisiones indirectas. Las emisiones indirectas en este caso son las que se producen para generar la electricidad.

Resultados por Km	Operación del vehículo	Total
Energía total	177,8 Wh/Km	329 Wh/Km
Emisiones		
VOC	0 mg/km	5,55 mg/km
CO	0 mg/km	22,73 mg/km
NOx	0 mg/km	42,19 mg/km
PM10	3 mg/km	37,747 mg/km
PM2.5	0 mg/km	12,54 g/km
SOx	0 mg/km	10,30 mg/km
CH4	0 mg/km	292,38 mg/km
CO2	0 mg/km	57,22 g/km
N2O	0 mg/km	1,37 g/km
CO2 biogénico	0 mg/km	-3,961 g/km
Gas efecto invernadero	0 mg/km	60,98 g/km
Urbano		
VOC	0 mg/km	313,49 µg/km
CO	0 mg/km	3,83 mg/km
NOx	0 mg/km	8,09 mg/km
PM10	0 mg/km	363,80 mg/km
PM2.5	0 mg/km	313,21 µg/km
SOx	0 mg/km	670,07 µg/km
CH4	0 mg/km	2,84 mg/km
CO2	0 mg/km	17,26 g/km
N2O	0 mg/km	170,57 µg/km
CO2 biogénico	0 mg/km	-0g/km

Tabla 27: Emisiones coche eléctrico con mix del Escenario2-Caso 1

Como se muestra en la Tabla 27, las emisiones generadas por el uso del vehículo y teniendo en cuenta las emisiones indirectas, tienen un impacto en el ambiente de 57,22 g de CO₂/Km, 292,38 mg de CH₄/km y de 42,2mg de NO_x/Km.

Vemos que un vehículo eléctrico contribuye en **60,98 g/Km en gas de efecto invernadero**.

Si analizamos las emisiones en la ciudad del coche eléctrico vemos que los valores son: 363 µg de PM10/km, 313 µg de PM2,5/Km, 670 µg de SOx/Km y 8,09 mg de NOx/Km.

Claramente, observando los datos sobre emisiones, vemos que el vehículo eléctrico emite menos emisiones.

4.7.3.2.3 Discusión bajo el punto de vista ambiental

Hemos supuesto que 10 millones de vehículos de combustión son sustituidos por eléctricos.

Por lo que tendremos un parque de 5,52 millones de coches de gasolina, de 6,48 millones de coches de gasoil y 10 millones de eléctricos. En total **dicho parque emitirá 63·10⁶ Toneladas de gas efecto invernadero**.

4.7.3.2.4 Discusión bajo el punto de vista de la independencia energética

Ya vimos que un automóvil recorre como media unos 20.000 Km al año y gasta unos 1.300 litros de gasoil o 1.700 l de gasolina o 3.000 KWh en el caso de un coche eléctrico.

El parque actual consume anualmente 15.600 millones de litros de gasoil y 17.000 millones de litros de gasolina.

En este nuevo escenario, con 10 millones de eléctricos y como ya vimos en el Escenario 1-Caso 2, ahorraremos en gasolina anualmente un 44,8%, cerca de 7.616 millones de litros y en gasoil un 44%, cerca de 6.865 millones de litros, pero tendremos que producir 128 GWh más al día para la recarga de las baterías, lo que supondría un aumento en la importación de gas y carbón. En concreto 3.860 millones de m³ de gas y 3,1 millones de toneladas de carbón al año.

4.7.3.2.5 Comparación con otros escenarios similares.

Si comparamos con el Escenario 1-Caso 2, en el que había 10 millones de V.E., vemos que en este nuevo escenario importaremos un 44% menos de gas y un 20% más de carbón y aumentaremos el uso de eólica y solar respecto al Escenario 1-Caso 2, pero las emisiones del parque automovilístico eléctrico aumentarán en un 1,5% debido a que la demanda diaria de energía es mayor que en el Escenario 1.

4.7.3.3 Escenario 2-Caso 2: Plan 2020 y 2,5 millones V.E.

Mantenemos el Escenario 2 que contempla el Plan de energías renovables aprobado por el gobierno a lo largo del periodo 2010-2020 [REF. 20] y en este caso 2 vamos a suponer que se cumplen las previsiones de la U.E. para España en el número de coches eléctricos matriculados en 2020 que se preveía en 2,5 millones.

Ya habíamos analizado en el Escenario 1 la incorporación de 2,5 millones de V.E., pero en este escenario el mix energético ha cambiado porque la demanda energética de España en 2020 se estima que aumente y también por el aumento de la potencia renovable instalada.

4.7.3.3.1 Definición de modelos

Supondremos que los 28,75 GWh (calculado en el Escenario1-Caso1) de energía extra para la recarga de las baterías serán satisfechos mediante ciclo combinado, carbón y energía eólica durante las horas valle de 23h a 10 h y energía solar durante las horas valle que se dan entre las 8 h y las 10 h y entre las 15 h a las 17 h.

El resto de tecnologías mantendrán sin variación su aportación a la red de energía eléctrica.

La demanda media horaria aumentará hasta:

$$\text{CC: } \frac{28.750 \text{ MWh}}{24h} \cdot 0,4 + 12.812 \text{ MWh} = 13.277 \text{ MWh}$$

$$\text{Carbón: } \frac{28.750 \text{ MWh}}{24h} \cdot 0,25 + 5000 \text{ MWh} = 5.287 \text{ MWh}$$

$$\text{Eólica: } \frac{28000 \text{ MWh}}{24h} \cdot 0,25 + 8333 \text{ MWh} = 8.620 \text{ MWh}$$

$$\text{Solar: } \frac{28.750 \text{ MWh}}{24h} \cdot 0,1 + 3010 \text{ MWh} = 3.125 \text{ MWh}$$

Nuclear: 6.435,8 MWh

Térmica renovable: 572 MWh

Cogeneración: 3.653 MWh

Hidráulica: 3.900 MWh

Hace una media horaria total de 44,86 GWh

Para la recarga de las baterías hemos supuesto que el 40% de la energía necesaria para recargarlas la obtendremos de ciclo combinado, ya que su uso diario medio en la contribución de la generación de energía para el mapa de 2020 era solo del 50%. Otro 25% mediante carbón ya que su uso medio horario era algo bajo, un 44%. Mediante renovables, hemos supuesto que un 25% de la energía necesaria fuera satisfecha mediante eólica y el otro 10% con solar.

	Potencia instalada	Energía media horaria	% Uso Diario	
Nuclear	7.866(MW)	6.435,8 MWh	81,8%	
Eólica	35.000 (MW)	8.620 MWh	24,6%	▲
Hidráulica	22.100 (MW)	3.900 MWh	17,6%	
Solar	12.050 (MW)	3.125 MWh	25,9%	▲
Carbón	11.131(MW)	5.287,5 MWh	47,5%	▲
Ciclo Combinado	25.350 (MW)	13.277 MWh	52,3%	▲
Térmica renovable	979 (MW)	572 MWh	58%	
Cogeneración	7.127(MW)	3.653 MWh	51%	

Tabla 28: Potencia, energía y uso del Escenario2- Caso 2

4.7.3.3.2 Simulación en GREET

Por tanto el nuevo mix energético teniendo en cuenta las recargas quedaría:

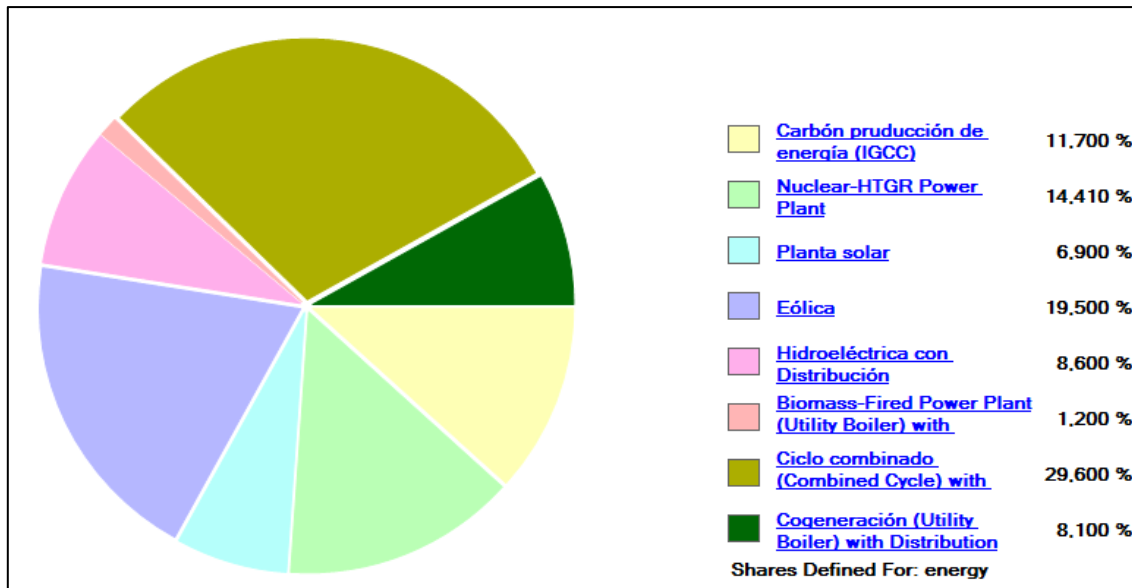


Ilustración 15: Mix energético Escenario 2- Caso 2

Las emisiones de este nuevo mapa serán de:

Per	1000 Wh
Emissions	
Life Cycle	---
Emissions	---
VOC	30,757 mg
CO	130,619 mg
NOx	241,041 mg
PM10	196,689 mg
PM2.5	67,260 mg
SOx	57,048 mg
CH4	1,634 g
N2O	7,361 mg
CO2	313,308 g
CO2Biogenic	-23,044 g
Groups	---
Greenhouse Gas	333,307 g

Tabla 29: Emisiones mix Escenario2-Caso 2

El **mix energético** peninsular de este caso, tras modelarlo en GREET genera 313,31 gCO₂/KWh. Si descontamos el CO₂ biogénico, el mix queda en **290,25 gCO₂/KWh**.

Al año será un total de **90 millones de Toneladas de gas efecto invernadero**

El mix del Escenario 2- Caso 2 genera al año 90 millones de Toneladas de gas efecto invernadero

Como ya vimos en el apartado 3.1, para estudiar la emisión de contaminantes de un vehículo habrá que tener en consideración, tanto las emisiones del vehículo en su operación, como otras emisiones indirectas. Las emisiones indirectas en este caso son las que se producen para generar la electricidad.

Resultados por Km	Operación del vehículo	Total
Energía total	177,8 Wh/Km	319,3Wh/Km
Emisiones		
VOC	0 g/km	5,47 mg/km
CO	0 g/km	27,22 mg/km
NOx	0 g/km	42,86 mg/km
PM10	0 mg/km	34,97 mg/km
PM2.5	0 mg/km	11,96 mg/km
SOx	0 mg/km	10,14 mg/km
CH4	0 mg/km	290,56 mg/km
CO2	0 g/km	55,71g/km
N2O	0 g/km	1,31 mg/km
CO2 biogénico	0 g/km	´-4,09 g/km
Gas efecto invernadero	0 g/km	59,272 g/km
Urbano		
VOC	0 mg/km	324,20 µg/km
CO	0 mg/km	3,99 mg/km
NOx	0 mg/km	8,43 mg/km
PM10	0 mg/km	373,80 µg/km
PM2.5	0 mg/km	327,28 µg/km
SOx	0 mg/km	659,47 µg/km
CH4	0 mg/km	2,83 mg/km
CO2	0 g/km	17,03 g/km
N2O	0 g/km	157,84 µg/km
CO2 biogénico	´-0 g/km	´-0 g/km

Tabla 30: Emisiones coche eléctrico con mix del Escenario2-Caso 2

Como se muestra en la Tabla 30, las emisiones generadas por el uso del vehículo y teniendo en cuenta las emisiones indirectas, tienen un impacto en el ambiente de 55,72 g de CO2/Km, 290,56 mg de CH4/km y de 42,86mg de NOx/Km.

Un vehículo eléctrico contribuye en **59,272 g/Km en gas de efecto invernadero**.

Si analizamos las emisiones en la ciudad del coche eléctrico vemos que los valores son: 373 µg de PM10/km, 327 µg de PM2,5/Km, 659 µg de SOx/Km y 8,43 mg de NOx/Km.

Claramente, observando los datos sobre emisiones, vemos que el vehículo eléctrico emite muchas menos emisiones.

4.7.3.3.3 Discusión bajo el punto de vista ambiental

Hemos supuesto que 2,5 millones de vehículos de combustión son sustituidos por eléctricos. Por lo que tendremos un parque de 8,85 millones de coches de gasolina, de 10,65 millones de coches de gasoil y 2,5 millones de eléctricos. Dicho parque emitirá **86,5·10⁶ Toneladas de gas de efecto invernadero/año**.

4.7.3.3.4 Discusión bajo el punto de vista de la independencia energética

Ya vimos que un automóvil recorre como media unos 20.000 Km al año y gasta unos 1.300 litros de gasoil o 1.700 l de gasolina o 3.000 KWh en el caso de un coche eléctrico.

El parque actual consume anualmente 15.600 millones de litros de gasoil y 17.000 millones de litros de gasolina.

En este Caso 2, gracias a los 2,5 millones de coches eléctricos ahorraremos en gasolina un 11,5%, cerca de 2.000 millones de litros y en gasoil un 11,25%, cerca de 1.750 millones de litros, pero tendremos que producir 28,75 GWh más al día para la recarga de las baterías, lo que supondría un aumento anual en la importación de gas y carbón. En concreto 869 millones de m³ de gas al año y 700.000 toneladas de carbón al año.

4.7.3.3.5 COMPARACIÓN CON OTROS ESCENARIOS SIMILARES.

Si comparamos con el Caso 1 del Escenario 1 en el que había 2,5 millones de V.E., vemos que en este nuevo escenario importaremos un 58% menos de gas y un 50% menos de carbón gracias al uso de eólica e hidráulica para generar la energía de las recargas.

4.7.4 Resumen de Escenarios y Casos

En las tablas siguientes se muestra un resumen comparativo con los datos relevantes de cada uno de los Escenarios y Casos analizados anteriormente.

ESCENARIO	EMISIONES PARQUE (MTA g.e.i.*)	EMISIONES GENERACIÓN ELECTRICA (MTA g.e.i.*)	TOTAL EMISIONES (MTA g.e.i.*)	DESCRIPCIÓN MAPA DE GENERACIÓN	EMISIONES V.E. (g/Km).	EMISIONES MIX (g/Kwh)
2013	94,25	70,5	164,75	Demanda de 260.000 GWh al año. Nuclear 21%, Carbón 14,6%, C.C. 9,6%, Hidráulica 14,4%, Eólica 21%, Solar 4,9%, T.R. 1,8% y Coge 12,4%		271,74
ESCENARIO1- CASO1 2,5 M de V.e.	86,3	79,0	164,3	Sobre el mapa de generación de 2013 la demanda aumenta en un 4% repartido en: un aumento del 2% en Carbón y un 2% de C.C.	54,16	304,6
ESCENARIO1- CASO2 10 M de V.e.	62	81,9	143,9	Sobre el mapa de generación de 2013 la demanda aumenta en un 17,4% repartido en: un aumento del 3,5% en Carbón, un 12,18% de C.C., un 0,87% de Eólica y un 0,87% de Hidráulica	56,06	315,3
2020	94,2	124,4	218,6	Demanda de 383.000 GWh al año. Nuclear 14,7%, Carbón 11,5%, C.C 29%, Hidráulica 8,95%, Eólica 19,1%, Solar 8,1%, T.R. 1,31% y Coge 8,39%		324,8
ESCENARIO2- CASO1 10 M de V.e.	63	130,9	193,9	Sobre el mapa de generación de 2020 la demanda aumenta en un 10,5% repartido en: un aumento del 2,62% en Carbón y un 4,2% de C.C., un 2,62% de Eólica y un 1,5% de solar	60,98	342,0
ESCENARIO2- CASO2 2,5 M de V.e.	83,5	127,5	211,0	Sobre el mapa de generación de 2020 la demanda aumenta en un 5,2% repartido en: un aumento del 1,3% en Carbón y un 2,1% de C.C., un 1,3% de Eólica y un 0,5% de solar	59,27	333,3

(MTA g.e.i. *) = (Millones de Toneladas Anuales de gas de efecto invernadero).

Tabla 31: Resumen de Escenarios-Casos

Tabla comparativa de las emisiones urbanas

	NOx	PM10	PM2.5
Gasolina	91,5 mg/Km	8,50 mg/Km	3,35 mg/Km
Diésel	183,3 mg/Km	16,75 mg/Km	18 mg/Km
Eléctrico	8-10 mg/Km	365-505 µg/Km	313-440 µg/Km

Tabla 32: Comparativa de emisiones urbanas

Resumen independencia energética de Escenarios-Casos

ESCENARIO	CANTIDAD DE CARBÓN IMPORTADO AL AÑO (Millones de Toneladas)	VOLUMEN DE GAS IMPORTADO AL AÑO (Millones de m3)	CARBURANTE AHORRADO FRENTE 2013 (Millones de L)
GENERACIÓN 2013	10,40	5.313	-
ESCENARIO1- CASO 1 (2.5MILLONES DE V.E.)	Para la demanda 10,40 Para las recargas 1,44 TOTAL 11,84	Para la demanda 5.313 Para las recargas 2.127 TOTAL 7.440	Gasoil 1.750 Gasolina 2.000
ESCENARIO 1- CASO 2 (10 MILLONES DE V.E.)	Para la demanda 10,4 Para las recargas 2,5 TOTAL 12,9	Para la demanda 5.313 Para las recargas 6.900 TOTAL 12.213	Gasoil 6.865 Gasolina 7.616
GENERACIÓN 2020	12,2	23.626	
ESCENARIO 2- CASO 1 (10 MILLONES DE V.E.)	Para la demanda 12,2 Para las recargas 3,1 TOTAL 15,3	Para la demanda 23.616 Para las recargas 3.860 TOTAL 27.476	Gasoil 6.865 Gasolina 7.616
ESCENARIO 2- CASO 2 (2,5 MILLONES DE V.E.)	Para la demanda 12,2 Para las recargas 0,7 TOTAL 12,9	Para la demanda 3.616 Para las recargas 869 TOTAL 24.485	Gasoil 1.750 Gasolina 2.000

Tabla 33: Independencia energética

Tomando como referencia la Tabla 35: Coste de la electricidad para distintas tecnologíasTabla 35 y sabiendo cuales son los mixes de generación de los diferentes escenarios, obtenemos :

Escenarios	Coste generación (c€/Kwh)
2013	10,5
Escenario 1-caso 1	10,9
Escenario 1-caso 2	12,0
Escenario 2-caso 1	12,5
Escenario 2-caso 2	12,2

Tabla 34: Costes de generación de los diferentes escenarios

4.7.5 Conclusiones

4.7.5.1 Conclusiones bajo el punto de vista ambiental y tecnológico

En cualquiera de los dos Escenarios, el coche eléctrico contribuye a reducir las emisiones de gas efecto invernadero, según puede observarse en la Tabla 31.

En el Escenario 1 vemos que en el Caso1 de los 2,5 millones de v.e., las emisiones son las mismas que si no hubiese v.e. debido a que la proporción de coches de combustión sigue siendo muy alta en comparación con los eléctricos y también a que en este caso supusimos que un 50% de la energía necesaria iba a provenir del carbón y el otro 50% de C.C., sin utilizar energías renovables. Por el contrario, en el Caso2 de los 10 M de v.e., las emisiones de gas efecto invernadero son menores que las emisiones actuales debido a que se usa energía renovable y la proporción de uso de centrales de carbón para recargar las baterías disminuye.

En el Escenario 2 de forma similar al Escenario 1, las emisiones de gas efecto invernadero se reducen respecto al parque actual. En el caso 2 de los 2,5 M. de v.e. las emisiones del parque se reducen pero las provenientes de la generación aumentan por lo que las emisiones totales son sensiblemente inferiores al caso en el que no hubiera un parque eléctrico. Por el contrario en el caso 1 de 10 M de v.e las emisiones se reducen más de 20 millones de toneladas.

En cuanto a los **NOx y PM** vamos a centrarnos solo en las emisiones urbanas ya que en ocasiones se superan los niveles de concentración máximos permitidos y dichos contaminantes son negativos para la salud a partir de cierta concentración en el aire.

Podemos observar que las emisiones urbanas en el caso de los eléctricos son muy inferiores respecto de los motores de combustión.

En una ciudad como Madrid, que hay cerca de 3.300.000 [\[REF. 15\]](#) coches, en una proporción de 57/43 de diésel y gasolina respectivamente y emiten cada día 27 toneladas de NOX, 5 toneladas de PM10 y 3 toneladas de PM2,5. Si parte del parque diésel fuera sustituido por 500.000 coches eléctricos, las emisiones de NOx diarias se reducirían hasta las 23 toneladas, las de PM10 hasta 2,1 toneladas y las de PM2,5 hasta 1,77 toneladas.

Analizando estos datos podemos decir que para que sea efectivo ambientalmente el uso de vehículos eléctricos, tendrían que implantarse primero en las ciudades, ya que aunque no



consigan reducir las emisiones de gas efecto invernadero, por lo menos reducirán la concentración de NOx y PM.

Bajo el punto de vista tecnológico en el Escenario 1, con la demanda actual vemos que existe potencia instalada de C.C. más que suficiente para recargar las baterías durante las horas valle.

En el Escenario 2, a pesar del aumento de la demanda energética también se instalará mayor potencia eólica, hidráulica y solar. En las horas valle que se producirán en este escenario, será especialmente importante la utilización de un parque eléctrico que ayude a aplanar la curva de la demanda.

4.7.5.2 Conclusiones bajo el punto de vista de la independencia energética y económica

Podemos decir que descenderá la dependencia energética de España, ya que un parque eléctrico de 2,5 millones ahorrará al año más de 3.000 millones de litros de carburante y en el caso de los 10 millones se ahorrarán más de 13.000 millones de litros.

5 VISIÓN ECONÓMICA

A continuación se muestra el desglose de los costes que acarrearán las nuevas centrales de energía que se van a instalar en España [\[REF. 20\]](#).

5.1 EÓLICA

Los costes medios normalizados de energía para los parques eólicos en tierra son del orden de entre 5,9 – 9,1 c€/KWh, concretamente los que han sido puestos en marcha recientemente en España se estiman alrededor de los 7,7 c€/2010/kWh, correspondiente a instalaciones que rindan unas 2.200 horas anuales equivalentes netas, ubicadas en emplazamientos con menor recurso que el de los primeros parques instalados en España.

Las instalaciones en tierra suponen una inversión inicial de entre 1 y 1,3 M€/MW para instalaciones de 50 MW. La diferencia de precio depende principalmente de cuatro factores: altura de la torre, potencia, configuración multiplicador/generador y distancia al punto de evacuación a la red.

La instalación en mar supone una inversión inicial de entre 1,8 y 3,9 M€/MW para instalaciones de 150 MW. El precio varía según la profundidad del suelo marino, altura de la torre, potencia.

5.1.1 Los costes de explotación

Para instalaciones en tierra, se estiman en 45.000 €/MW/año, el cual se ha mantenido prácticamente constante durante la última década. Para instalaciones marinas los costes de explotación aumentan hasta los 110.000 €/MW/año

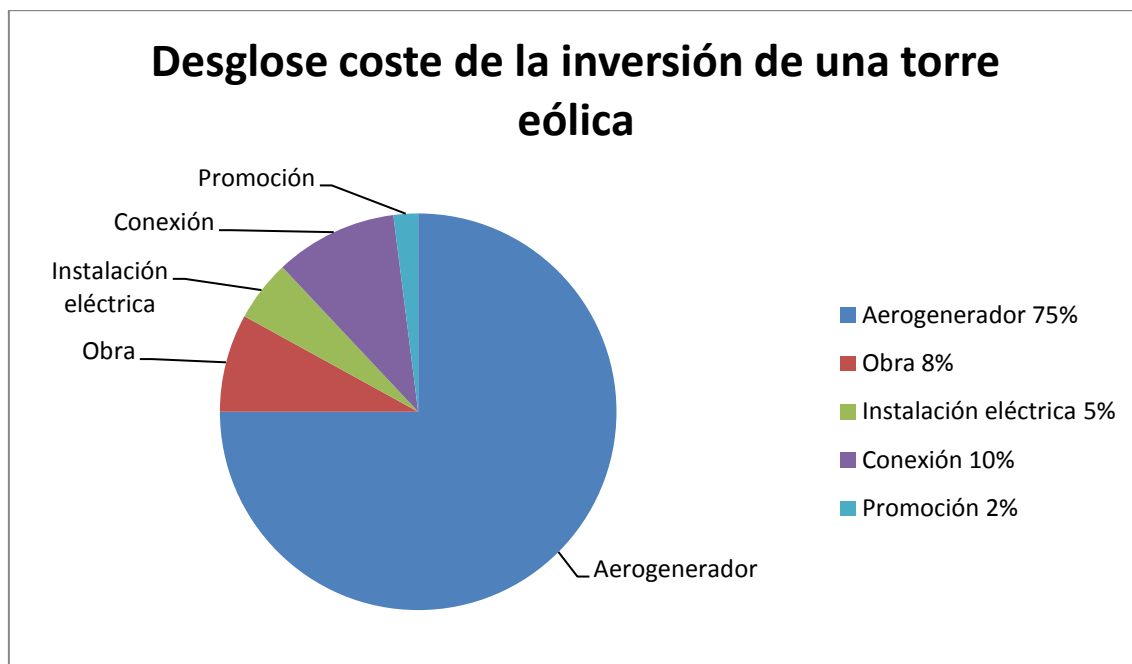


Ilustración 16: Coste de la inversión de una torre eólica

5.1.2 Costes de generación

El coste actual de la generación eléctrica mediante tecnología eólica en España se estima entre 5,9 y 9,1 c€/kWh para instalaciones en tierra (correspondiente a un rango entre 2.900 y 1.900 horas anuales equivalentes respectivamente).

Concretamente, los que han sido puestos en marcha recientemente en España se estiman alrededor de los 7,7 c€/2010/kWh, correspondiente a instalaciones que rindan unas 2.200 horas anuales equivalentes netas, ubicadas en emplazamientos con menor recurso que el de los primeros parques instalados en España.

Para instalaciones marinas el coste de generación eléctrica está entre 9,2 y 13,2 c€/kWh (correspondiente a un rango entre 2 y 50 km de distancia a la costa respectivamente y 3.300 horas).

5.2 HIDROELÉCTRICA

El análisis de costes realizado se centra en las centrales de agua fluyente y de pie de presa que suponen más del 90% del total de las instalaciones existentes en España.

El coste de inversión de una central hidroeléctrica de nueva construcción varía entre 1,3 y 1,6 M€/MW para una instalación de tipo fluyente y entre 0,7 y 1,0 M€/MW para una instalación de tipo pie de presa.

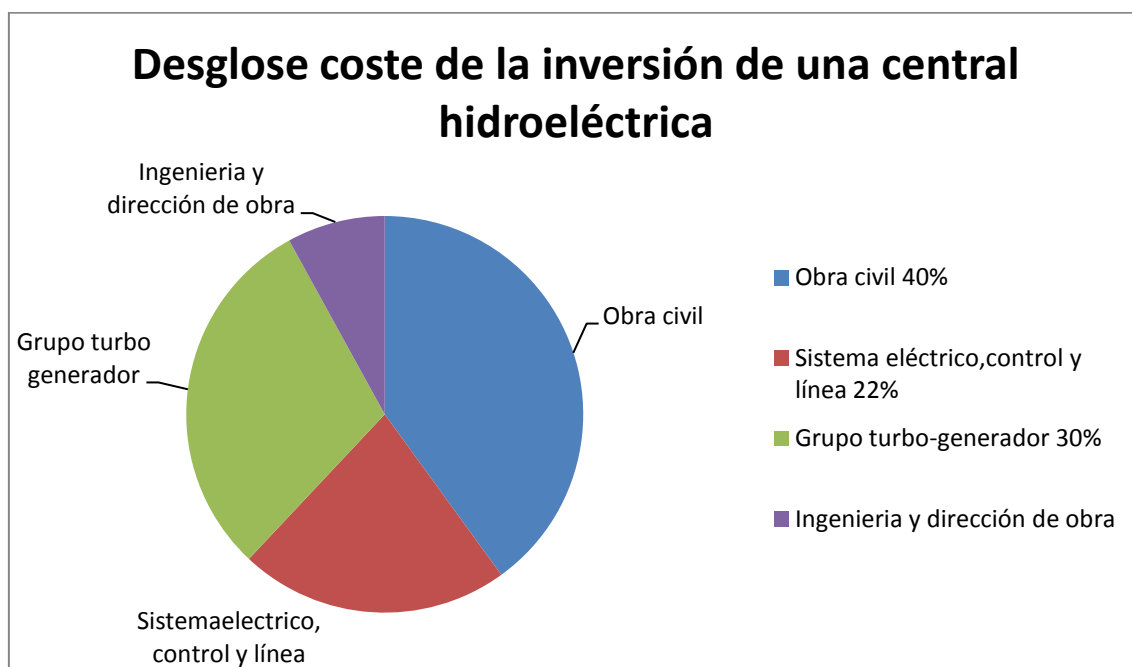


Ilustración 17: Coste de la inversión de una central hidroeléctrica

Cuando se trata de rehabilitación de centrales, el coste de inversión oscila entre 0,9-1,1 M€/MW para las de tipo fluyente y entre 0,6-0,9 M€ 2010/MW para las de tipo pie de presa. La inversión es inferior por el menor gasto en la obra civil.

Los costes de operación y mantenimiento son de 44€/KW

5.2.1 Coste de generación

El coste normalizado de generación de energía varía entre 6-8 c€/kWh siendo muy similares para centrales de agua fluyente y centrales a pie de presa.

5.3 SOLAR FOTOVOLTAICA

Los costes de inversión varían en función del precio de los módulos, pero también en este caso del sistema de seguimiento que posea la instalación ofrecen un rango de costes de entre 2,80 y 3,35 €/Wp, con un incremento de 0,5 €/Wp si el seguimiento es con 1 eje, y 0,90 €/Wp si el seguimiento es a dos ejes

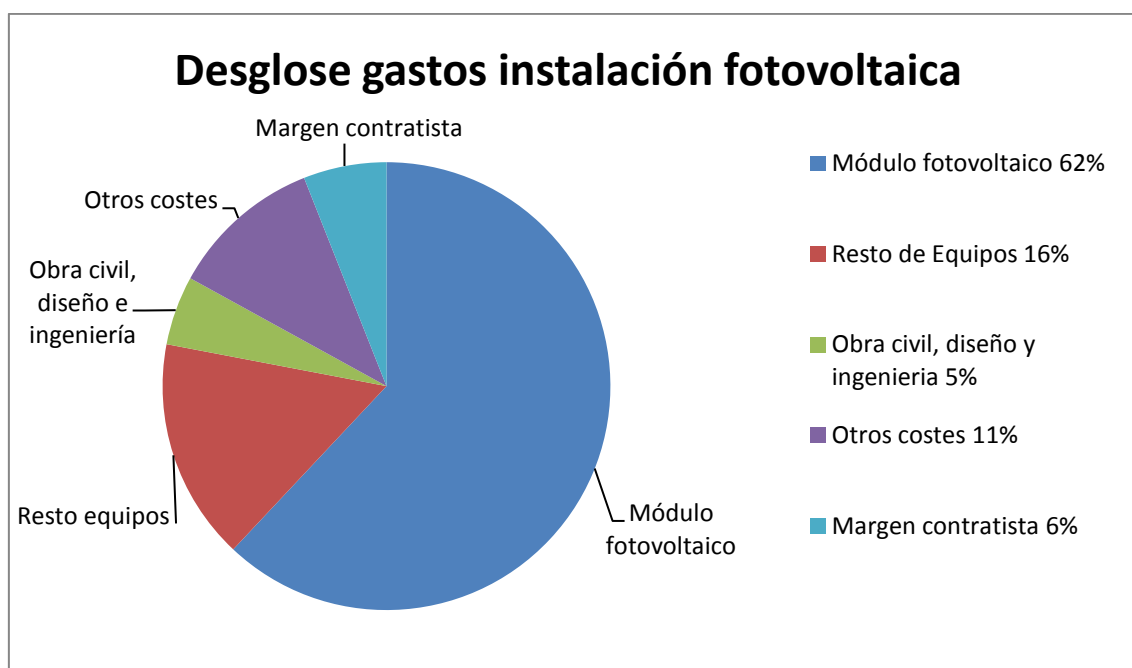


Ilustración 18: Gastos instalación fotovoltaica

5.3.1 El coste de mantenimiento

Ascienden a 47.000 €/MW/año, con un incremento de entre 25.000 y 55.000 €/MW cuando se incorpora seguimiento en 1 eje o en 2 ejes, respectivamente.

5.4 SOLAR FOTOTÉRMICA

Para una central **CCP**, sin almacenamiento se han estimado los costes de inversión de aproximadamente 5,08 M€/MW, de igual manera, para una central CCP con almacenamiento los costes de inversión estimados para el año 2010 son de 6,93 M€/MW.

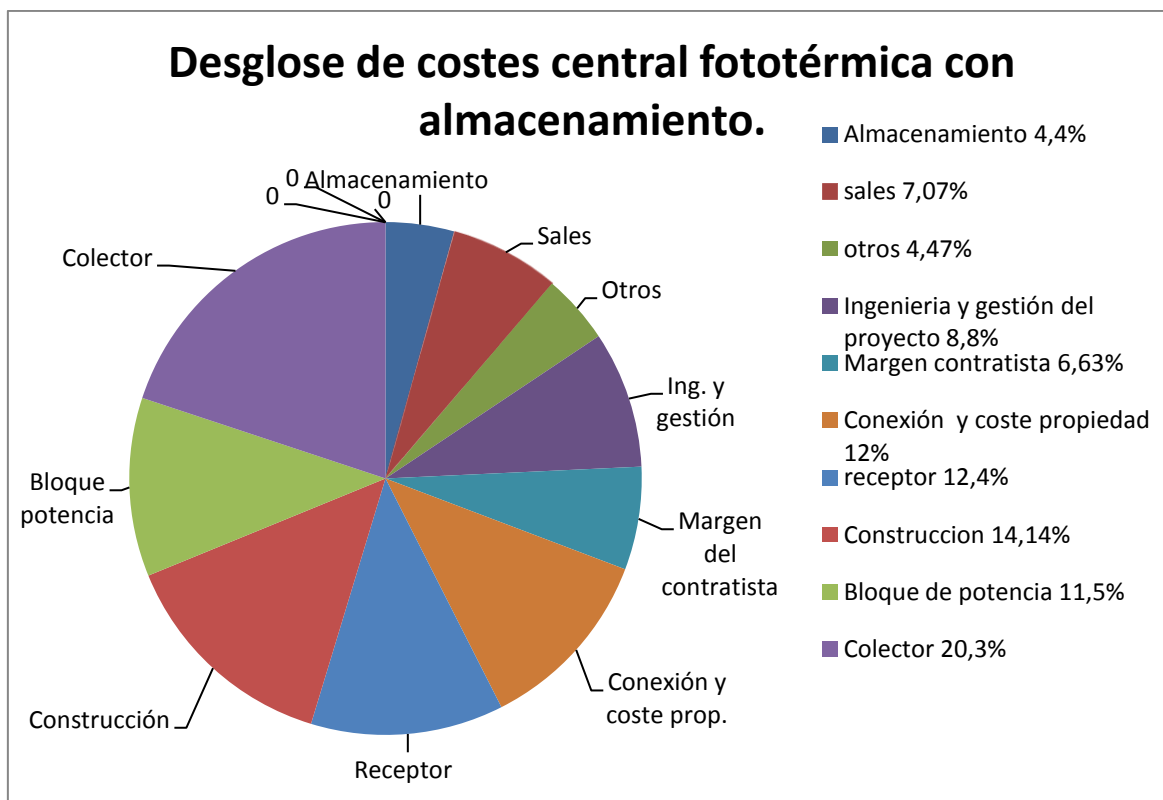


Ilustración 19: Costes central fototérmica con almacenamiento

5.4.1 Los costes de mantenimiento

Son coste fijos que no experimentan mucha variación, son de 150.000 y 120.000 €/MW/año

5.4.2 Coste de generación

El coste de generación eléctrica mediante tecnología fototérmica está entre 15 - 18c€/KWh en el punto de máximo gradiente.

Coste de la electricidad con distintas fuentes [\[REF. 21\]](#)

PLANTA	COSTE PARA LA SOCIEDAD en 2014 (c€/Kwh)
Eólica	7,7
Solar fotovoltaica	17,8-27
Térmica renovable	11,7
Hidroeléctrica	6,3
Central de carbón	16,2
Nuclear	17,1
Ciclo combinado	12,6

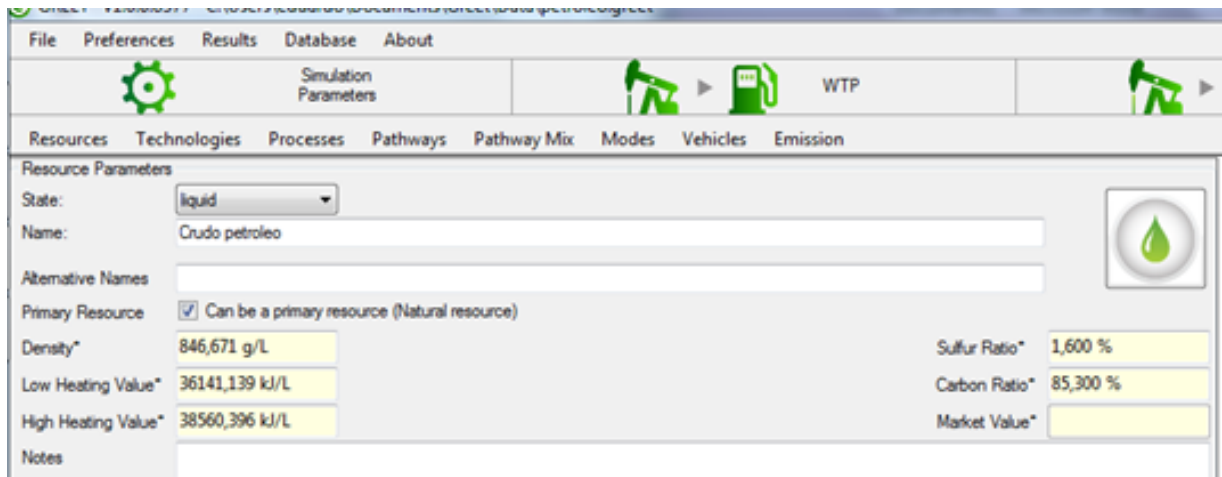
Tabla 35: Coste de la electricidad para distintas tecnologías

6 ANEXO

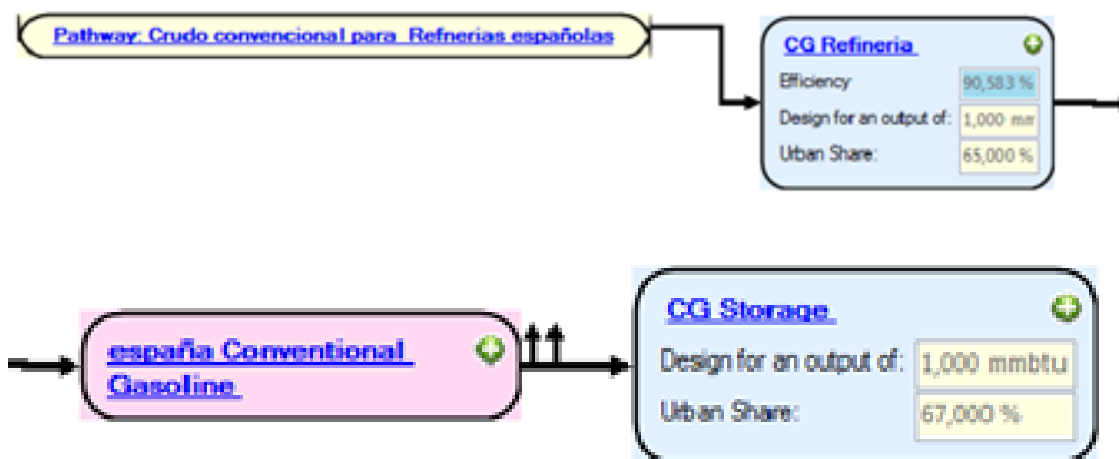
6.1 RUTA DEL PETRÓLEO

A continuación vamos a crear la secuencia de procesos que sigue el petróleo desde que se extrae en un yacimiento hasta que llega a los puntos de distribución en España.

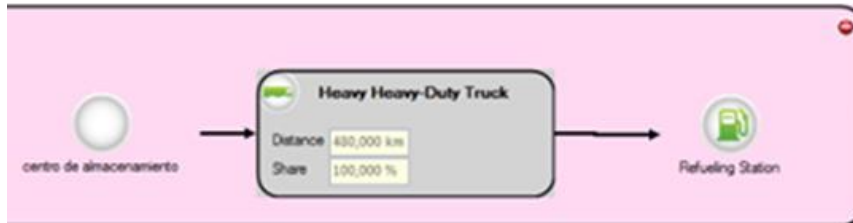
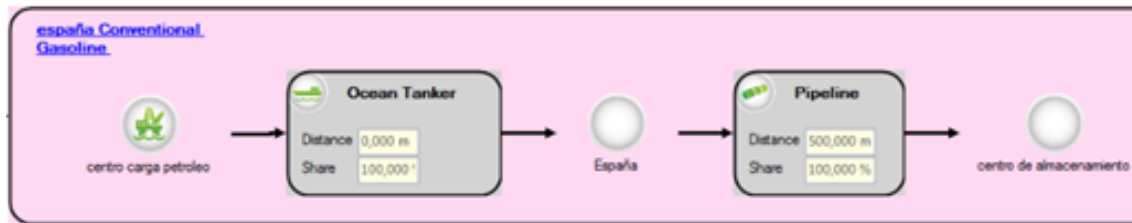
Primero introducimos la densidad y los poderes caloríficos.



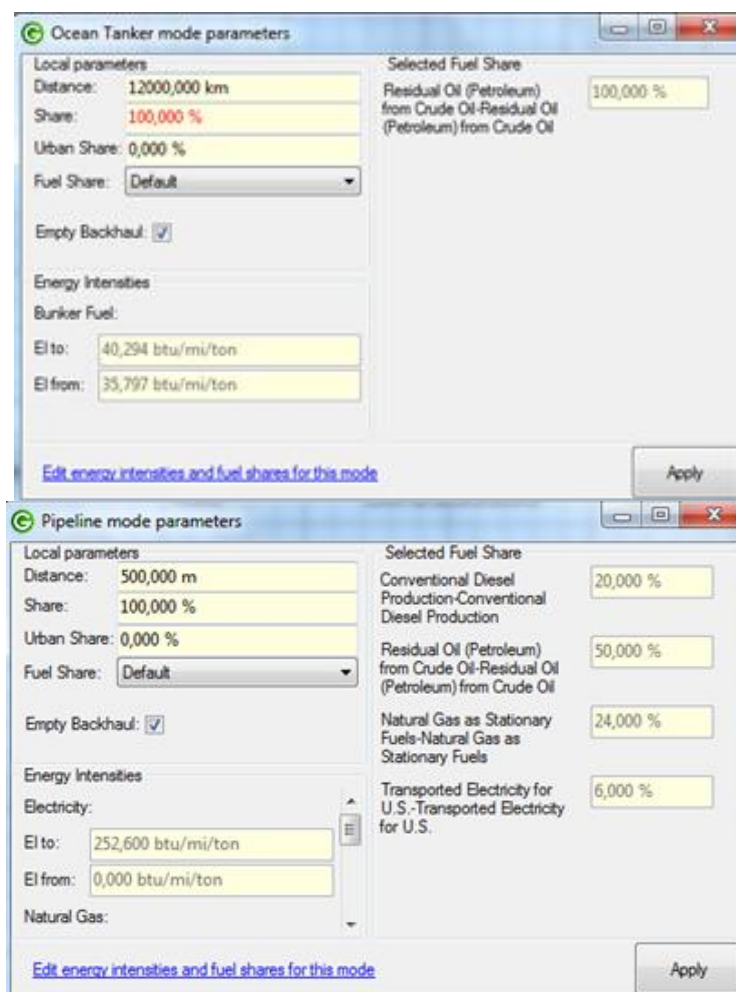
En el siguiente paso se describen cada uno de los procesos por los que debe pasar el crudo. Esta figura muestra que: el petróleo es descargado en las refinerías, se refina y se almacena para después ser vendido para el consumo interno de España o ser vendido a terceros.



Dentro del proceso **España Conventional gasolina** especificamos los kilómetros que recorre la gasolina desde que se refina hasta que llega al punto de venta. También hemos incluido el transporte que realiza el crudo desde que se carga en el puerto de abastecimiento hasta que llega a España.



Cada petrolera es libre de comprar el petróleo a los diferentes yacimientos que hay en el mundo, por lo que la procedencia del crudo que se consume en España es desconocida pero hemos supuesto que recorrerá unos 12.000 Km por mar antes de llegar a las refinерías. Dado que todo el crudo viene en barco petrolero, el porcentaje de transporte es el 100%.



Ocean Tanker mode parameters

Local parameters	Selected Fuel Share
Distance: 12000,000 km	Residual Oil (Petroleum) from Crude Oil-Residual Oil (Petroleum) from Crude Oil: 100,000 %
Share: 100,000 %	
Urban Share: 0,000 %	
Fuel Share: Default	
Empty Backhaul: <input checked="" type="checkbox"/>	
Energy Intensities	
Bunker Fuel:	
EI to: 40,294 btu/mi/ton	
EI from: 35,797 btu/mi/ton	

[Edit energy intensities and fuel shares for this mode](#) Apply

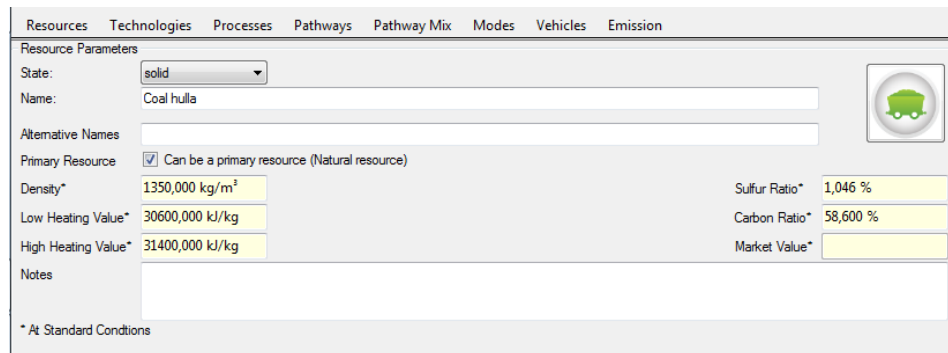
Pipeline mode parameters

Local parameters	Selected Fuel Share
Distance: 500,000 m	Conventional Diesel Production-Conventional Diesel Production: 20,000 %
Share: 100,000 %	Residual Oil (Petroleum) from Crude Oil-Residual Oil (Petroleum) from Crude Oil: 50,000 %
Urban Share: 0,000 %	Natural Gas as Stationary Fuels-Natural Gas as Stationary Fuels: 24,000 %
Fuel Share: Default	Transported Electricity for U.S.-Transported Electricity for U.S.: 6,000 %
Empty Backhaul: <input checked="" type="checkbox"/>	
Energy Intensities	
Electricity:	
EI to: 252,600 btu/mi/ton	
EI from: 0,000 btu/mi/ton	
Natural Gas:	

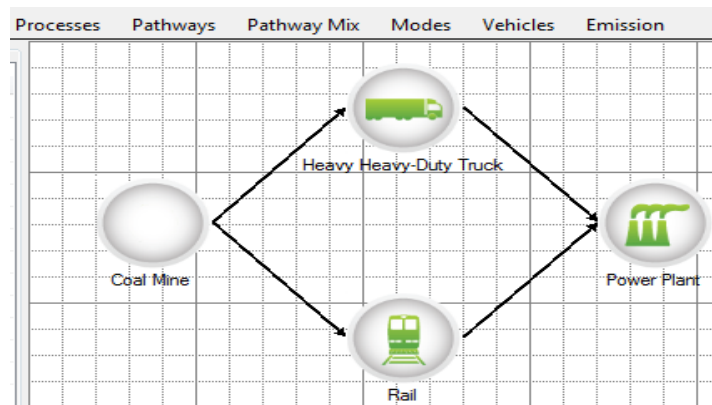
[Edit energy intensities and fuel shares for this mode](#) Apply

6.2 RUTA DEL CARBÓN

Modelizamos el Carbón utilizado en las centrales. Introducimos la densidad, poderes caloríficos y el ratio de sulfuro.

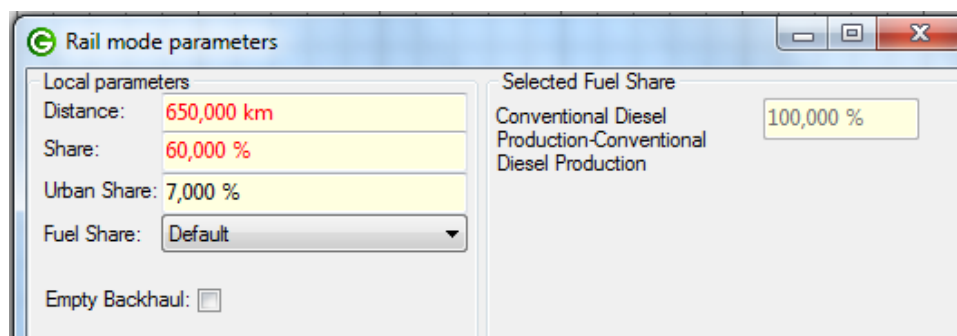


Creamos la ruta que sigue el Carbón una vez que llega a España

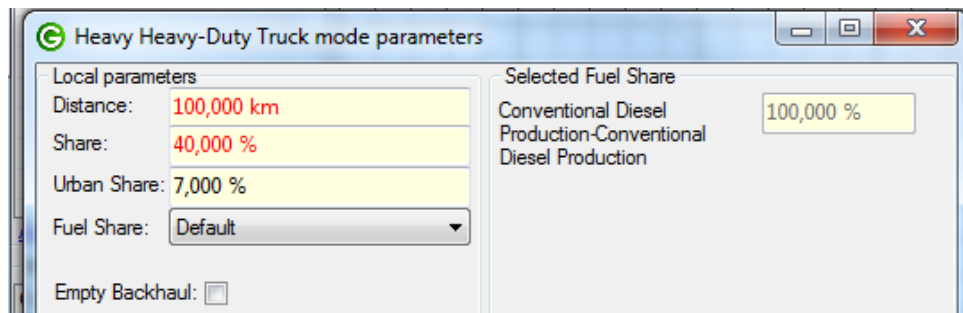


Suponemos que desde que desembarca en el puerto, parte de ese carbón será cargado en camiones para las centrales cercanas y para las demás centrales se cargará en tren.

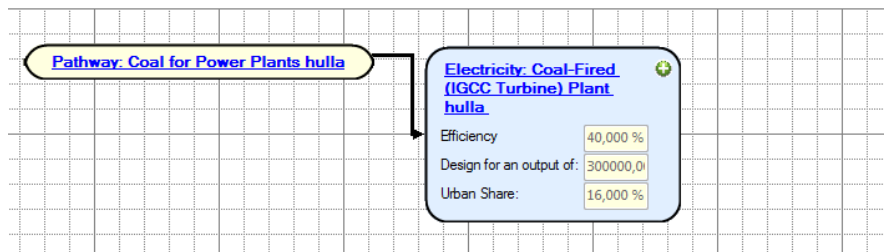
Una vez desembarca el carbón, éste será transportado a distintos puntos de España en tren hasta algún punto de almacenaje cerca de las centrales, suponemos que hará un recorrido medio de 650 Km.



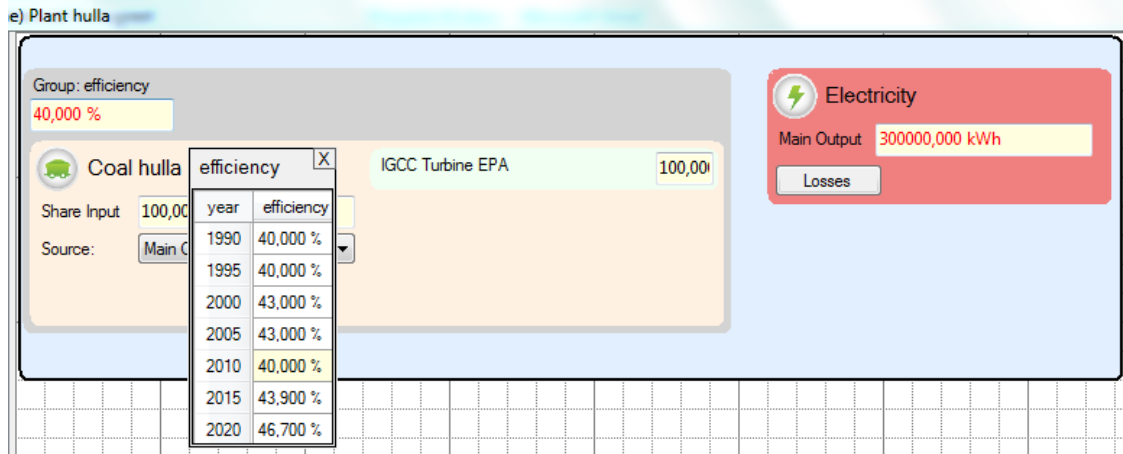
Desde los puntos de almacenaje hasta la central, el carbón será transportado en camión recorriendo una media de 100 Km.



Tomamos una central de carbón en GREET que consuma el carbón que hemos creado y tenga en consideración el recorrido que ha realizado.



Introducimos el rendimiento de una central de carbón anterior a 1990.



year	efficiency
1990	40,000 %
1995	40,000 %
2000	43,000 %
2005	43,000 %
2010	40,000 %
2015	43,900 %
2020	46,700 %



Las emisiones de una planta de carbón española será de:

1000 Wh	
Emissions	
Life Cycle	---
▲ Emissions	---
VOC	66,243 mg
CO	120,947 mg
NOx	274,824 mg
PM10	1,403 g
PM2.5	356,077 mg
SOx	120,380 mg
CH4	1,215 g
N2O	38,060 mg
CO2	806,830 g
CO2Biogenic	-30,215 mg
▲ Groups	---
Greenhouse Gas	848,517 g

7 REFERENCIAS

- [REF. 1] *Horizonte 2020*
<http://www.eshorizonte2020.es/>
- [REF. 2] *Operador del Mercado Ibérico de Energía, Polo Español, S.A., (OMEL)*
<http://www.omelholding.es/omel-holding/>
- [REF. 3] *Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.*
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1997-25340
- [REF. 4] *Real Decreto-ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.*
<http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-7581>
- [REF. 5] *Real Decreto-ley 6/2010, de 9 de abril, de medidas para el impulso de la recuperación económica y el empleo.*
http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-5879
- [REF. 6] *Real Decreto-ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico.*
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-19757
- [REF. 7] *Real Decreto-ley 13/2012, de 30 de marzo por el que se transponen directivas en materia de mercados interiores de electricidad y gas y en materia de comunicaciones electrónicas, y por el que se adoptan medidas para la corrección de las desviaciones por desajustes entre los costes e ingresos de los sectores eléctrico y gasista.*
<http://www.minetur.gob.es/energia/es-es/novedades/Paginas/RDLtransposiciondirectivas.aspx>
- [REF. 8] *Real Decreto-ley 20/2012, de 13 de julio, de medidas para garantizar la estabilidad presupuestaria y de fomento de la competitividad*
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2012-9364>
- [REF. 9] *Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero*
http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-1117
- [REF. 10] *Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico*
http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-7705
- [REF. 11] *Ley 15/2013, de 17 de octubre, por la que se establece la financiación con cargo a los Presupuestos Generales del Estado de determinados costes del sistema eléctrico, ocasionados por los incentivos económicos para el fomento a la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables y se concede un crédito extraordinario por importe de 2.200.000.000 de euros en el presupuesto del Ministerio de Industria, Energía y Turismo*
http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-10904



- [REF. 12] *Orden IET/221/2013, de 14 de febrero, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2013 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial*
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-1698
- [REF. 13] *Red Eléctrica de España, balance diario*
<http://www.ree.es/es/actividades/balance-diario>
- [REF. 14] *Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.*
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-13645
- [REF. 15] *Dirección General de Tráfico - Portal Estadístico*
<https://sedapl.dgt.gob.es/IST2/menu.do?path=/vehiculos/parque/a2013/&file=pcaxis10&type=pcaxis&L=0&js=1>
- [REF. 16] *Apuntes Universidad CIII 2013 (Wark K., Warner C.F. Contaminación del aire. Editorial Limusa,1992)*
- [REF. 17] *Red Eléctrica de España, actividades, demanda y producción en tiempo real*
<http://www.ree.es/es/actividades/demanda-y-produccion-en-tiempo-real>
- [REF. 18] <http://www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/zoe/zoe/#/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/zoe/zoe/precios-y-especificaciones.jsp>
- [REF. 19] *Oficina catalana del cambio climático.pdf*
- [REF. 20] *IDEA-Plan de energías renovables 2011-2020.pdf*
- [REF. 21] *Renewable Energy in the 21st Century*